

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.А. Андрияс  
подпись                      инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 –Строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕБЕДСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ДЕБЕД.  
СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ТЕХНОЛОГИИ В  
МОНИТОРИНГЕ ГТС**

|              |               |   |  |
|--------------|---------------|---|--|
| Руководитель | _____         | <u>Старший преподаватель</u><br><u>кафедры ГТСиГМ Саяно-</u><br><u>Шушенского филиала СФУ</u> | <u>С.С.Гутов</u><br>инициалы, фамилия  |
|              | подпись, дата | должность   |  |
| Выпускник    | _____         |   | <u>А.М.Мазепа</u><br>инициалы, фамилия |
|              | подпись, дата |   |  |

Саяногорск; Черёмушки 2020

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Дебедской ГЭС на реке Дебед. Современные геодезические технологии в мониторинге ГТС».

Консультанты по  
разделам:

Водно - энергетические расчёты

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Затеева Е.Ю.

инициалы, фамилия

Основное и вспомогательное  
оборудование

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Масленникова А.В.

инициалы, фамилия

Компоновка и сооружения  
гидроузла

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Фирищак Е.В.

инициалы, фамилия

Организация и производство  
гидротехнических работ

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Толошинова Т.Ю.

инициалы, фамилия

Пожарная безопасность. Охрана  
труда

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Затеев В.Б.

инициалы, фамилия

Охрана окружающей среды

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Кадычegov В.А.

инициалы, фамилия

Технико - экономическое  
обоснование

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Лапасова В.В.

инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Чабанова А.А.

инициалы, фамилия

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ДЕБЕДСКОЙ ГЭС .....   | 8  |
| 1 Анализ исходных данных и определение внешних условий функционирования ГЭС .....                         | 10 |
| 1.1 Природные условия .....   | 10 |
| 1.1.1 Местоположение гидроузла .....  | 10 |
| 1.1.2 Климат .....  | 10 |
| 1.1.3 Гидрологические данные .....  | 10 |
| 1.1.4 Инженерно-геологические данные .....  | 12 |
| 2 Водно-энергетический расчет.....  | 13 |
| 2.1 Исходные данные .....   | 13 |
| 2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока .....  | 13 |
| 2.3 Выбор расчётного средневодного года (P=50%) .....   | 14 |
| 2.4 Выбор расчетного маловодного года (P=90%) .....   | 14 |
| 2.5 Графики нагрузки .....  | 15 |
| 2.5.1 Суточные графики нагрузки.....  | 15 |
| 2.5.2 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы.....               | 16 |
| 2.6 Расчет режимов работы ГЭС с учётом требований ВХК .....   | 17 |
| 2.7 Водно-энергетический расчёт на сработку-наполнение водохранилища в маловодный (P=90%) год.....        | 18 |
| 2.8 Определение рабочей мощности ГЭС .....  | 19 |
| 2.9 Расчет резервов и определение установленной мощности проектируемой ГЭС, расчет баланса мощностей..... | 19 |
| 2.10 Водно-энергетический расчёт режима работы ГЭС по условию средневодного года .....                    | 20 |
| 3 Выбор основного и вспомогательного оборудования.....  | 21 |
| 3.1 Режимное поле.....  | 21 |
| 3.2 Выбор системы и количества гидроагрегатов.....  | 23 |
| 3.3 Проверка работы турбины при минимальном расходе.....  | 28 |
| 3.4 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины .....                                      | 29 |
| 3.5 Выбор типа серийного гидрогенератора .....  | 30 |
| 3.6 Расчет спиральной камеры .....  | 31 |
| 3.7 Выбор типа маслонапорной установки.....   | 35 |
| 3.8 Выбор электрогидравлического регулятора.....  | 35 |
| 3.9 Расчёт вала на прочность.....   | 35 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.10  | Расчёт подшипника .....   | 36 |
| 3.11  | Определение диаметра деривационного туннеля .....                               | 37 |
| 3.12  | Заглубление водозабора на величину воронкообразования .....                     | 38 |
| 3.13  | Выбор конструктивной схемы компоновки гидротурбины .....                        | 38 |
| 4     | Компоновка и сооружения гидроузла .....   | 39 |
| 4.1   | Проектирование сооружений напорного фронта .....                                | 39 |
| 4.1.1 | Определение отметки гребня плотины .....  | 39 |
| 4.2   | Гидравлические расчёты .....  | 43 |
| 4.2.1 | Определение ширины водосливного фронта .....                                    | 43 |
| 4.2.2 | Расчёт донного водосброса .....   | 45 |
| 4.2.3 | Определение отметки гребня водослива .....                                      | 46 |
| 4.2.4 | Проверка на пропуск расчётного расхода при поверочном расчётном случае. ....    | 47 |
| 4.2.5 | Построение оголовка водослива по Кригер - Офицерову .....                       | 49 |
| 4.2.6 | Расчёт сопряжения потока в нижнем бьефе .....                                   | 50 |
| 4.2.7 | Расчёт носка трамплина и дальности отлета струи.....                            | 51 |
| 4.3   | Конструирование бетонной плотины .....  | 54 |
| 4.3.1 | Определение ширины подошвы плотины .....  | 54 |
| 4.3.2 | Разрезка бетонных плотин швами.....   | 56 |
| 4.3.3 | Быки .....  | 57 |
| 4.3.4 | Галереи и дренаж в теле плотины .....   | 57 |
| 4.3.5 | Определение ширины плотины по гребню.....                                       | 58 |
| 4.3.6 | Расчет цементационной завесы и дренажа .....                                    | 58 |
| 4.4   | Определение основных нагрузок на плотину.....                                   | 59 |
| 4.4.1 | Вес сооружения .....  | 59 |
| 4.4.2 | Сила гидростатического давления воды.....                                       | 60 |
| 4.4.3 | Равнодействующая взвешивающего давления .....                                   | 61 |
| 4.4.4 | Сила фильтрационного давления.....  | 62 |
| 4.4.5 | Давление грунта .....   | 62 |
| 4.4.6 | Волновое воздействие при основном сочетании нагрузок .....                      | 64 |
| 4.4.7 | Волновое воздействие при особом сочетании нагрузок .....                        | 64 |
| 4.5   | Оценка прочности плотины при основном сочетании нагрузок .....                  | 65 |
| 4.5.1 | Определение напряжений.....   | 65 |
| 4.5.2 | Критерии прочности плотины и её основания при основном сочетании нагрузок ..... | 67 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.5.3 | Обоснование устойчивости плотины при основном сочетании нагрузок  | 68 |
| 4.6   | Оценка прочности плотины при особом сочетании нагрузок  | 69 |
| 4.6.1 | Определение напряжений при особом сочетании нагрузок  | 69 |
| 4.6.2 | Критерии прочности плотины и её основания при особом сочетании нагрузок                                       | 72 |
| 4.6.3 | Обоснование устойчивости плотины  | 73 |
| 5     | Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах                        | 75 |
| 5.1   | I этап строительства – возведение сооружений, необходимых для стеснения русла                                 | 75 |
| 5.1.1 | Гидравлический расчет перемычек первой очереди с учетом пропуска строительных расходов через стесненное русло | 76 |
| 5.1.2 | Пропуск строительных расходов 2 очереди методом донных отверстий.   | 77 |
| 5.1.3 | Определяем отметка гребня перемычек 2 очереди.  | 79 |
| 5.1.4 | Конструкция перемычек   | 80 |
| 5.1.5 | Технология возведения перемычек   | 80 |
| 5.2   | Водоотлив   | 81 |
| 5.2.1 | Откачка воды  | 81 |
| 5.2.2 | Водопонижение   | 82 |
| 5.3   | Производство земельно-скальных работ  | 82 |
| 5.3.1 | Определяем объём земляных работы  | 82 |
| 5.3.2 | Буровзрывные работы   | 83 |
| 5.3.3 | Производительность бурового станка  | 84 |
| 5.3.4 | Взрывные работы   | 85 |
| 5.3.5 | Земляные работы   | 85 |
| 5.4   | Производство бетонных работ   | 88 |
| 5.4.1 | Определение объёмов бетонных работ  | 88 |
| 5.4.2 | Приготовление и укладка бетонной смеси  | 88 |
| 5.4.3 | Уплотнение бетонной смеси   | 90 |
| 5.4.4 | Уход за бетоном   | 90 |
| 5.5   | Арматурные работы   | 92 |
| 5.6   | Показатели производительности отдельных типов работ   | 92 |
| 5.6.1 | Укладка бетонной смеси  | 92 |
| 5.6.2 | Арматурные работы   | 93 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.6.3  | Технология монтажа опалубки .....   | 93  |
| 5.6.4  | Интенсивность бетонных работ .....  | 94  |
| 5.7    | II этап – перекрытие русла .....  | 94  |
| 5.8    | III этап – Нарращивание сооружений до отметок начала наполнения водохранилища .....                     | 95  |
| 5.9    | IV этап – Нарращивание сооружений до отметок необходимых для пуска 1-ого ГА .....                       | 96  |
| 5.10   | V этап – Нарращивание сооружений до проектных отметок, наполнение водохранилища для пуска всех ГА ..... | 96  |
| 6      | Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации                                      | 98  |
| 6.1    | Оценка объемов реализации электроэнергии .....  | 98  |
| 6.2    | Текущие расходы на производство электроэнергии .....  | 99  |
| 6.3    | Налоговые расходы .....   | 101 |
| 6.4    | Оценка суммы прибыли .....  | 102 |
| 6.5    | Оценка инвестиционного проекта .....  | 103 |
| 6.5.1  | Методология и исходные данные .....   | 103 |
| 6.5.2  | Показатели коммерческой эффективности проекта .....   | 104 |
| 6.6    | Бюджетная эффективность .....   | 104 |
| 6.7    | Анализ чувствительности .....   | 105 |
| 7      | Охрана окружающей среды .....   | 107 |
| 7.1    | Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства .....                         | 107 |
| 7.2    | Мероприятия по подготовке ложа водохранилища .....  | 107 |
| 7.3    | Отходы, образующиеся при строительстве .....  | 109 |
| 7.4    | Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации .....                          | 110 |
| 8      | Охрана труда .....  | 112 |
| 9      | Пожарная безопасность .....   | 114 |
| 10     | Современные геодезические технологии в мониторинге ГТС .....  | 116 |
| 10.1   | Автоматическая система диагностического контроля .....  | 116 |
| 10.2   | Выбор аппаратно-программных средств .....   | 117 |
| 10.2.1 | Оборудования для контроля раскрытия швов .....  | 117 |
| 10.2.2 | Наблюдения за плановыми перемещениями .....   | 117 |
| 10.2.3 | Наблюдения за высотными перемещениями .....   | 119 |
| 10.2.4 | Оценка неравномерной осадки .....   | 119 |
| 10.2.5 | Программная часть .....   | 120 |
| 10.3   | Принятые системы .....  | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| 10.4 Выводы .....  | 121 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 122 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                         | 124 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Анализ исходных данных .....                      | 126 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Водно-энергетические расчёты .....                | 128 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В Основное и вспомогательное оборудование ГЭС ..... | 137 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г Компонировка и сооружения гидроузла .....         | 140 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д Оценка экономических показателей .....            | 141 |

## СОКРАЩЕННЫЙ ПАСПОРТ ДЕБЕДСКОЙ ГЭС

1. Наименование реки ..... Дебед;
2. Местонахождение ГЭС ..... Лорийская область;
3. Тип проектируемой установки ..... ГЭС;
4. Характерные расходы воды:
  - а) среднемноголетний ..... 54 м<sup>3</sup>/с;
  - б) всех турбин ..... 72 м<sup>3</sup>/с;
  - в) максимальный с обеспеченностью: 0,1% ..... 165 м<sup>3</sup>/с;  
0,01% ..... 186 м<sup>3</sup>/с;
  - г) минимальный ..... 45 м<sup>3</sup>/с;
5. Параметры водохранилища:
  - а) характер регулирования стока ..... годовой;
  - б) отметка: НПУ ..... 710 м;  
ФПУ ..... 712 м;  
УМО ..... 698,9 м
  - в) объемы:
    - полный ..... 1,62 км<sup>3</sup>;
    - полезный ..... 0,4 км<sup>3</sup>;
6. Напоры ГЭС:
  - а) максимальный ..... 212 м;
  - б) расчетный ..... 210 м;
  - в) минимальный ..... 198,9 м;
7. Энергетические характеристики:
  - а) мощность:
    - установленная ..... 142 МВт;
    - рабочая ..... 125 МВт;
  - б) среднемноголетняя выработка энергии ..... 806 млн. кВт·ч;
8. Водосбросные сооружения
  - 8.1. Глубинные водовыпуски:
    - а) число и форма сечения ..... 2 и прямоугольная;
    - б) размер сечения ..... 2х3;
9. Здание ГЭС:
  - а) тип здания ..... деривационное;
  - б) число агрегатов ..... 2;
  - б) грунты в основании ..... гранит;
  - в) тип спиральной камеры ..... металлическая эллиптического сечения;
  - г) тип отсасывающей трубы ..... изогнутая;
10. Основное оборудование:
  - а) тип турбины ..... PO230a-B-224;
  - б) тип генератора ..... ВГС475/210 14;
  - в) мощность генератора ..... 94 МВт;
  - г) частота вращения ..... 428,6 об/мин;
11. Техничко-экономические показатели:
  - а) срок окупаемости ..... 13 лет 2 месяца;



б) себестоимость энергии .....0,203 руб/кВт·ч;  
в) НПВ..... 2376,08 млн. руб.;  
г) Индекс прибыльности PI..... 1,76.

# 1 Анализ исходных данных и определение внешних условий функционирования ГЭС

## 1.1 Природные условия

### 1.1.1 Местоположение гидроузла

Река течёт по узкому и глубокому (до 350 м) ущелью до села Баграташен. По реке проходит участок армяно-грузинской границы протяжённостью около 12 км, отделяющей правобережное армянское село Баграташен от левобережного грузинского Садахло.

Створ Дебедского гидроузла расположен вблизи посёлка Одзун, а здание ГЭС располагается на расстоянии 1 км от села Акнер. Оба села находятся в Лорийской области, Армении.

В створе Дебедского ГУ преобладает скальный рельеф (гранитогнейс).

### 1.1.2 Климат

Климат Лорийской области на высотах, приблизительно равным 1000 м, сухой субтропический с продолжительным и жарким летом (средняя  $t$  июля —  $24^{\circ}\text{C}$ ) и мягкой беснежной или малоснежной зимой (средняя  $t$  января —  $0^{\circ}\text{C}$ ). Продолжительность безморозного периода в данной области — 245-255 дней. Среднегодовая температура воздуха в районе строительства составляет  $11,7^{\circ}\text{C}$ .

### 1.1.3 Гидрологические данные

Питание реки осуществляется преимущественно поверхностными и подземными притоками. Основными притоками являются реки Памбак и Дзорагет. Среднегодовой расход воды равен  $54 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Весеннее половодье начинается в мае и заканчивается в июле. Среднегодовой расход воды в период половодья равен  $96 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Максимальный расчетный расход при основном расчётном случае  $164,7 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $P = 0,1\%$ ) и максимальный расход при поверочном расчётном случае  $186 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $P = 0,01\%$ ), санитарный расход  $Q_{\text{сан}} = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Координаты кривой связи объема водохранилища и отметки верхнего бьефа представлены в таблице 1.1 и рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Координаты кривой связи объема водохранилища и отметки верхнего бьефа

|                            |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $V, \text{ км}^3$          | 0     | 0,18  | 0,36   | 0,54  | 0,72   | 0,9    | 1,08   | 1,26   | 1,44   | 1,62   |
| $Z_{\text{ВБ}}, \text{ м}$ | 630,1 | 652,5 | 664,71 | 673,9 | 682,61 | 690,94 | 698,13 | 703,58 | 707,35 | 709,99 |

Продолжение таблицы 1.1

|                            |        |        |
|----------------------------|--------|--------|
| $V, \text{ км}^3$          | 1,8    | 1,98   |
| $Z_{\text{ВБ}}, \text{ м}$ | 712,17 | 712,94 |

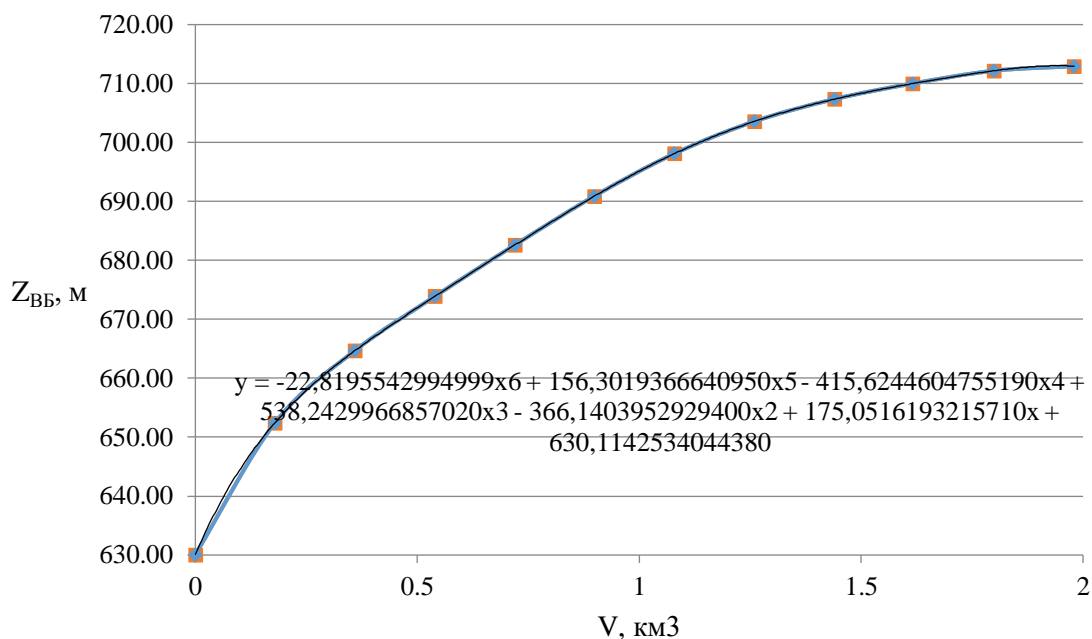


Рисунок 1.1 – Кривая связи объема водохранилища и отметок верхнего бьефа

Координаты кривой связи нижнего бьефа и расхода представлены в таблице 1.2 и рисунке 1.2.

Таблица 1.2 – Координаты кривой связи расхода водохранилища и отметки нижнего бьефа

| Z <sub>НБ</sub> , м  | 0      | 7,2    | 18,6   | 28,8   | 40,2   | 55,8   | 76,2   | 120    | 168    |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Q, м <sup>3</sup> /с | 500,02 | 500,44 | 501,04 | 501,51 | 501,97 | 502,50 | 503,01 | 503,50 | 504,00 |

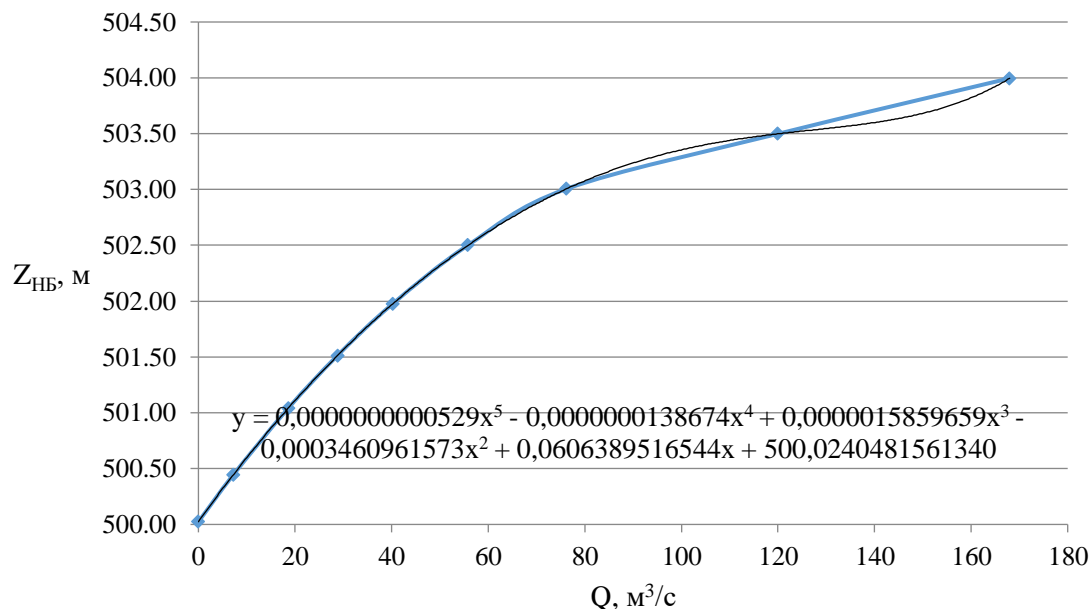


Рисунок 1.2 – Кривая связи расхода водохранилища и отметок нижнего бьефа

#### 1.1.4 Инженерно-геологические данные

В основании створа преобладает скальный рельеф – гранитогнейсы, обладающие следующими характеристиками:

- удельный вес грунта  $\gamma_{гр} = 18,05 \text{ кН/м}^3$ ;
- сцепление грунта  $c = 110 \text{ кПа}$ ;
- угол внутреннего трения грунта  $\varphi_{гр} = 20^\circ$ .

## 2 Водно-энергетический расчет

В приложении А представлен исходный гидрологический ряд за 50 лет наблюдений для реки Дебед. Каждый год гидрологического ряда представлен в виде средних расходов за каждый месяц.

Для определения значений год разделяется на многоводный период (половодье) и на маловодный период (межень). Для данного гидрологического ряда к периоду половодья относятся V, VI, VII, VIII месяцы, а к периоду межени IX, X, XI, XII, I, II, III, IV месяцы.

### 2.1 Исходные данные

- 1) Река: Дебед;
- 2) Энергосистема: Астраханское РДУ,  $P_{\max} = 567$  МВт;
- 3) Отметка НПУ = 710 м;
- 4) Отметка сухого дна = 500 м;
- 5) Коэффициент мощности  $k_N = 8,8$ ;
- 6) Потери напора в водоподводящих сооружениях  $\Delta h = 0,15$  м;

Требования участников водохозяйственного комплекса и потери воды представлены в таблице 1.

Таблица 2.1 - Требования участников водохозяйственного комплекса и потери воды

| Месяц                                     | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q_{\text{исп}}, \text{ м}^3/\text{с}$    | 0,22 | 0,31 | 0,33 | 0,34 | 0,49 | 0,62 | 1,13 | 0,98 | 0,33 | 0,26 | 0,25 | 0,11 |
| $Q_{\text{ледооб}}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| $Q_{\text{фильтр}}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 0,33 | 0,46 | 0,50 | 0,51 | 0,73 | 0,93 | 1,69 | 1,48 | 0,50 | 0,39 | 0,37 | 0,17 |
| $Q_{\text{шлюз}}, \text{ м}^3/\text{с}$   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 0,2  | 0,4  | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| $Q_{\text{ВХК}}, \text{ м}^3/\text{с}$    | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   |

### 2.2 Выбор расчетных гидрографов маловодного и средневодного года при заданной обеспеченности стока

По данным, представленным в таблице А.1 (приложение А) вычисляем средние расходы ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) для всех лет ряда, за период межени (IX, X, XI, XII, I, II, III, IV месяцы) и половодья (V, VI, VII, VIII месяцы) и располагаем их в порядке убывания. Результаты расчёта показаны в таблице Б.1 приложения Б.

Обеспеченность  $P(m)$  находим по формуле:

$$P(m) = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $m$  – порядковый номер члена ряда расходов, ранжированного в убывающем порядке;

$n$  – общее число членов ряда.

Расчетные значения обеспеченности принимаем равными 90% и 50% соответственно (таблица Б.1.)

### 2.3 Выбор расчётного средневодного года (P=50%)

Для расчетной обеспеченности P=50% принимаем 1996 год и вычисляем коэффициенты приведения по межени и половодью:

$$K_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi.баз}}{Q_{\Pi 1979}} = \frac{92}{87} = 1,05; \quad (2.2)$$

$$K_{M} = \frac{Q_{M.баз}}{Q_{M 1979}} = \frac{33}{36} = 0,91. \quad (2.3)$$

Для 1996 года уточняем годовой сток умножив среднемесячные расходы на вычисленные ранее коэффициенты, результаты представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Расходы средневодного 1979 года (P=50%) с приведением

| Месяцы                  | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | $Q_{ср.г.}$ |
|-------------------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-------------|
| $Q_{баз}^{1996}, м^3/с$ | 27 | 35 | 37  | 51 | 65 | 78 | 109 | 97   | 46 | 35 | 32 | 29  | 53          |
| $Q_{пр}^{1996}, м^3/с$  | 24 | 32 | 34  | 46 | 68 | 82 | 114 | 102  | 42 | 32 | 28 | 27  | 53          |

### 2.4 Выбор расчетного маловодного года (P=90%)

Принимаем 1999 год базовым для обеспеченности P=90% и считаем коэффициент приведения для межени и половодья:

$$K_{M} = \frac{Q_{M.баз}}{Q_{M 1999}} = \frac{80}{78} = 1,02. \quad (2.4)$$

$$K_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi.баз}}{Q_{\Pi 1999}} = \frac{27}{30} = 0,90. \quad (2.5)$$

В период половодья год с обеспеченностью 90% совпадает с базовым годом, из этого следует, что принимаем данный год 1999 за маловодный. Результаты представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расходы маловодного 1999 года (P=90%) с приведением

| P=90%                   | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | $Q_{ср.г.}$ |
|-------------------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-------------|
| $Q_{баз}^{1999}, м^3/с$ | 25 | 34 | 37  | 38 | 47 | 61 | 110 | 96   | 37 | 29 | 28 | 13  | 45          |
| $Q_{пр}^{1999}, м^3/с$  | 22 | 31 | 33  | 34 | 49 | 62 | 113 | 98   | 33 | 26 | 25 | 11  | 45          |

Среднегодовые расходы сошлись, следовательно, корректировка произведена верно.

Результаты корректировок представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Скорректированные расходы среднегодового и маловодного года

| Месяц   | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | $Q_{\text{ср.г.}}$ |
|---|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|--------------------|
| $Q_{\text{кор}}^{1996}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 24 | 32 | 34  | 46 | 68 | 82 | 114 | 102  | 42 | 32 | 28 | 27  | 53                 |
| $Q_{\text{кор}}^{1999}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 22 | 31 | 33  | 34 | 49 | 62 | 113 | 98   | 33 | 26 | 25 | 11  | 45                 |

На основе данных таблицы 2.4 выполняем построение гидрографа среднегодового и маловодного годов, представленных на рисунке 2.1.

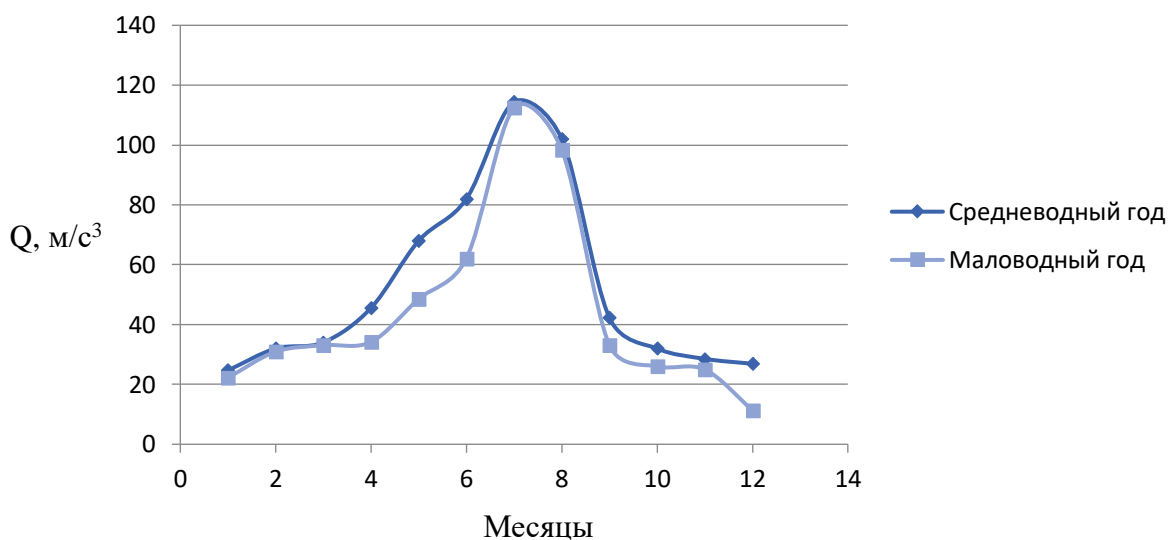


Рисунок 2.1 – Гидрограф реки Дебед маловодного и среднегодового годов.

## 2.5 Графики нагрузки

### 2.5.1 Суточные графики нагрузки

Суточные графики нагрузки и их интегральные кривые потребуются для определения рабочей мощности ГЭС при известной энергоотдаче каждого месяца, которая будет определена в ходе водно-энергетических расчетов. Так же ИКН используется для определения зоны работы ГЭС в суточном графике нагрузки энергосистемы.

Данные по энергосистеме Астраханскому РДУ взяты с сайта Системного оператора[1] в виде графиков потребления в зимние и летние сутки

В соответствии с методикой [2], а также на основе данных таблицы Б2 и Б3 строим интегральные кривые, представленные на рисунках Б.1 и Б.2.

## 2.5.2 Построение годовых графиков максимальных и среднемесячных нагрузок энергосистемы

По методике, описанной в 5 главе [2] находим максимальную и среднемесячную нагрузки Астраханского РДУ для каждого месяца, результаты заносим в таблицу 2.5.

Данные графики необходимы для построения баланса мощностей (график максимальных мощностей) и баланса энергий (график средних мощностей).

Таблица 2.5 – Годовые максимальные и среднемесячные нагрузки Астраханского РДУ

| t  | $\alpha$ | $\cos\alpha$ | Pt.max, МВт | Pt.средн, МВт | a max | b max | a средн | b средн |
|----|----------|--------------|-------------|---------------|-------|-------|---------|---------|
| 1  | 0,262    | 0,966        | 567         | 493           | 531   | 38    | 453     | 41      |
| 2  | 0,785    | 0,707        | 558         | 482           |       |       |         |         |
| 3  | 1,308    | 0,259        | 541         | 463           |       |       |         |         |
| 4  | 1,832    | -0,258       | 521         | 442           |       |       |         |         |
| 5  | 2,355    | -0,706       | 505         | 424           |       |       |         |         |
| 6  | 2,878    | -0,966       | 495         | 413           |       |       |         |         |
| 7  | 3,402    | -0,966       | 495         | 413           |       |       |         |         |
| 8  | 3,925    | -0,709       | 505         | 424           |       |       |         |         |
| 9  | 4,448    | -0,261       | 521         | 442           |       |       |         |         |
| 10 | 4,972    | 0,256        | 541         | 463           |       |       |         |         |
| 11 | 5,495    | 0,705        | 558         | 482           |       |       |         |         |
| 12 | 6,018    | 0,965        | 567         | 493           |       |       |         |         |

На основе расчётов выполняем построение графиков максимальных и среднемесячных мощностей для РДУ, представленных на рисунке 2.2.

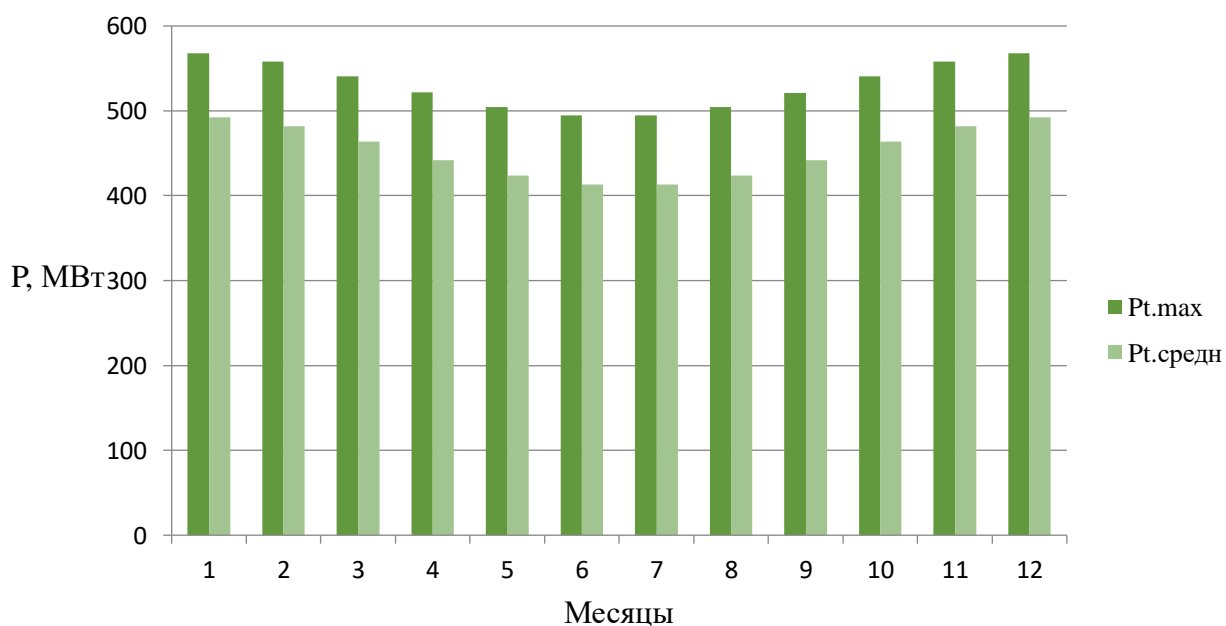


Рисунок 2.2 – График максимальных и среднемесячных мощностей



## 2.6 Расчет режимов работы ГЭС с учётом требований ВХК

Главным критерием при определении параметров проектируемой ГЭС является максимум вытеснения тепловых мощностей в энергосистеме.

Для выбранного расчетного маловодного года вычисляем значение мощности на полезном бытовом стоке для каждого месяца года по формуле:

$$N_{\text{Быт.ГЭС}} = k_N \cdot Q^{\text{пр90\%}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}, \quad (2.7)$$

где  $k_N$  – коэффициент мощности,  $k_N = 8,8$ ;  
 $Q^{\text{пр90\%}}$  – бытовой расход расчетного маловодного года;  
 $H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}$  – подведенный напор ГЭС.

$$H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}} = Z_{\text{ВВ}} - Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t)) - \Delta h, \quad (2.8)$$

где  $Z_{\text{ВВ}}$  – отметка верхнего бьефа, соответствующая отметке  $\nabla$  НПУ, м;  
 $Z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}(t))$  – уровень нижнего бьефа, определенный по летней или зимней кривой связи, м;  
 $\Delta h$  – потери напора в водоподводящих сооружениях,  $\Delta h = 0,15$  м.

Мощность ГЭС в режиме работы по требованиям ВХК:

$$N_{\text{ВХК}} = k_N \cdot Q_{\text{ВХК}} \cdot H_{\text{ГЭС}}^{\text{подв}}, \quad (2.9)$$

где  $Q_{\text{ВХК}}$  – расход воды по требованиям участников водохозяйственного комплекса, м<sup>3</sup>/с.

Результаты расчётов представлены в приложении Б, таблица Б.4.

Данный расчёт выполняется с целью определения месяцев, в которые ГЭС будет работать на расходах, превышающих требования ВХК.

Определяем излишки бытовой мощности в половодный период, которые будут переноситься на зиму:

$$N_{\text{изл}} = \sum N_{\text{быт}} - \sum N_{\text{вхк}} = 296 \text{ МВт}. \quad (2.10)$$

По данным таблицы 2.8 строим баланс энергии, представленный на плакате «Водно-энергетические показатели Дебедской ГЭС».

На графике баланса энергии проводим линию гарантированной мощности.

За месяц первый сработки принимаем первый месяц после половодья, в нашем случае это сентябрь. Из графика баланса энергии видно, что под регулирование попали 6 месяцев, а в остальные месяцы ГЭС работает по требованиям ВХК.

Таблица 2.6 – Данные для построения баланса энергии

| Месяц | $P_{ср}$ , МВт | $N_{быт}$ , МВт | $N_{вхк}$ , МВт | $N_{сущ.ГЭС}$ , МВт |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1     | 493            | 40              | 55              | 0                   |
| 2     | 482            | 55              | 55              | 0                   |
| 3     | 463            | 59              | 55              | 0                   |
| 4     | 442            | 61              | 55              | 0                   |
| 5     | 424            | 86              | 55              | 0                   |
| 6     | 413            | 110             | 55              | 0                   |
| 7     | 413            | 199             | 55              | 0                   |
| 8     | 424            | 174             | 55              | 0                   |
| 9     | 442            | 59              | 55              | 0                   |
| 10    | 463            | 47              | 55              | 0                   |
| 11    | 482            | 45              | 55              | 0                   |
| 12    | 493            | 20              | 55              | 0                   |

## 2.7 Водно-энергетический расчёт на сработку-наполнение водохранилища в маловодный (P=90%) год

По методике, изложенной в книге «Выбор параметров ГЭС: Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов»[2]проведены водно-энергетические расчёты по маловодному году (P=90%).

Основной задачей ВЭР является определение гарантированных мощностей, УМО, определение полезного объёма водохранилища. Расчеты по ВЭР приведены в [Приложении Б].

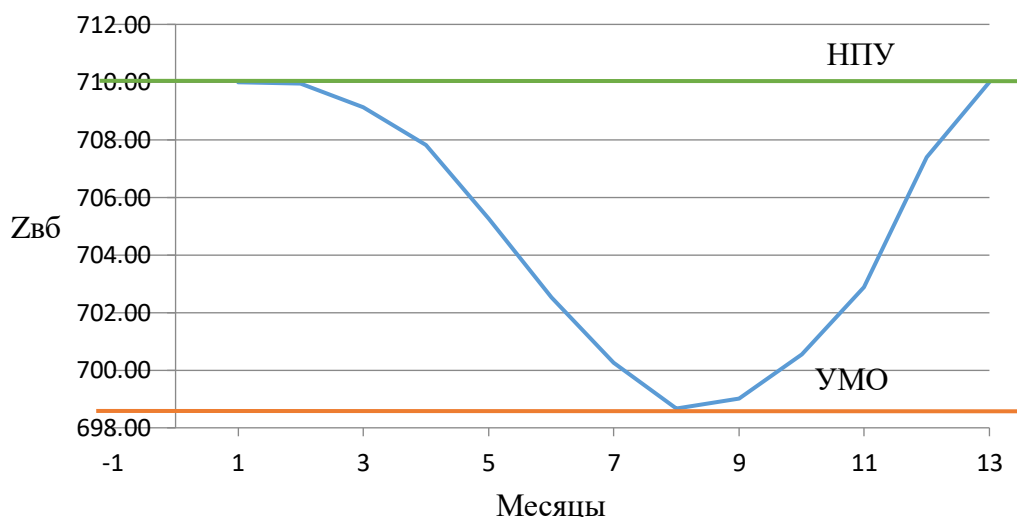


Рисунок 2.3 – График сработки-наполнения водохранилища в маловодный год

Результаты расчетов ВЭР по условию маловодного года:

- гарантированная мощность января, декабря –  $N_{раб} = 114$  МВт;
- уровень мёртвого объёма – УМО = 698,85 м.

– полезный объем –  $V_{\text{полезн}} = 0,4$  (км<sup>3</sup>).

## 2.8 Определение рабочей мощности ГЭС

Расчетные суточные и годовые графики нагрузки энергосистемы должны в первую очередь покрываться существующими станциями. Так как в данном РДУ существующие ГЭС отсутствуют, следует считать мощности только для проектируемой ГЭС.

Выработка проектируемой Дебедской ГЭС:

$$Э_{\text{гар.янв.}}^{\text{проект.ГЭС}} = 2736 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 2,7 \text{ млн кВт} \cdot \text{ч}$$

$$N_{\text{раб.янв.}}^{\text{пр.ГЭС}} = N_{\text{янв}}^{\text{пик.пр.ГЭС}} + N_{\text{янв}}^{\text{база.пр.ГЭС}} = 97 + 28 = 125 \text{ МВт} \quad (2.16)$$

Для проектируемой ГЭС в июне и июле:

$$Э_{\text{гар.июль.}}^{\text{проект.ГЭС}} = 51 \cdot 24 = 1224 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 1,2 \text{ млн кВт} \cdot \text{ч}$$

$$N_{\text{раб.янв.}}^{\text{пр.ГЭС}} = N_{\text{янв}}^{\text{пик.пр.ГЭС}} + N_{\text{янв}}^{\text{база.пр.ГЭС}} = 51 + 28 = 79 \text{ МВт} \quad (2.17)$$

Проведя аналогичную работу на заранее построенных для них ИКН находим рабочие мощности каждого месяца для проектируемой ГЭС, необходимые для построения баланса мощностей. Все результаты сводим в таблицу Б.6 приложения Б.

## 2.9 Расчет резервов и определение установленной мощности проектируемой ГЭС, расчет баланса мощностей

При составлении баланса мощности энергосистемы учитываем, что нагрузочный резерв системы равен 2 % от  $P_t^{\text{max}}$ , аварийный резерв составляет 10% от  $P_t^{\text{max}}$  [4]. Результаты расчёта представлены в таблице Б.7 приложения Б.

Ремонт оборудования ГЭС осуществляется в те месяцы, когда оно не полностью используется в энергосистеме, т.е. когда на ГЭС имеется свободная мощность. Ремонтная площадь существующих ГЭС:

Ремонтная площадь проектируемой ГЭС:

$$F_{\text{рем}}^{\text{пр.ГЭС}} = \frac{N_{\text{уст}}^{\text{пр.ГЭС}}}{6} \cdot 1 \text{ мес} = \frac{142}{6} = 24 \text{ МВт} \cdot \text{мес/год.} \quad (2.19)$$

Капитальный ремонт оборудования ТЭС можно планировать, исходя из расчета останова каждого агрегата на период ремонта в среднем 1 раз в 2 года:

$$F_{\text{рем}}^{\text{ГЭС}} = \frac{N_{\text{уст}}^{\text{ГЭС}}}{2} \cdot 1 \text{ мес} = \frac{442}{2} = 74 \text{ МВт} \cdot \text{мес/год.} \quad (2.20)$$

По данным таблицы Б.7, строим баланс мощности, представленный на плакате «Водно-энергетические показатели Дебедской ГЭС».

Установленную мощность проектируемой ГЭС представим в виде суммы:

$$N_{\text{уст.}}^{\text{ГЭС}} = N_{\text{раб}}^{\text{ГЭС}} + N_{\text{рез}}^{\text{ГЭС}} = 125 + 17 = 142 \text{ МВт.} \quad (2.21)$$

## 2.10 Водно-энергетический расчёт режима работы ГЭС по условию средневодного года

Задача ВЭР режима работы ГЭС в средневодном году – определить среднемноголетнюю выработку.

Рассмотрим режим наполнения водохранилища в период наполнения в средневодном году, результаты которого представлены в таблице Б.8.

По данным расчёта получаем среднемноголетнюю выработку, равную:

$$\sum \mathcal{E} = 806 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Строим график сработки и наполнения водохранилища ГЭС в средневодном году, объединённый с маловодным, представленный на рисунке 2.4.

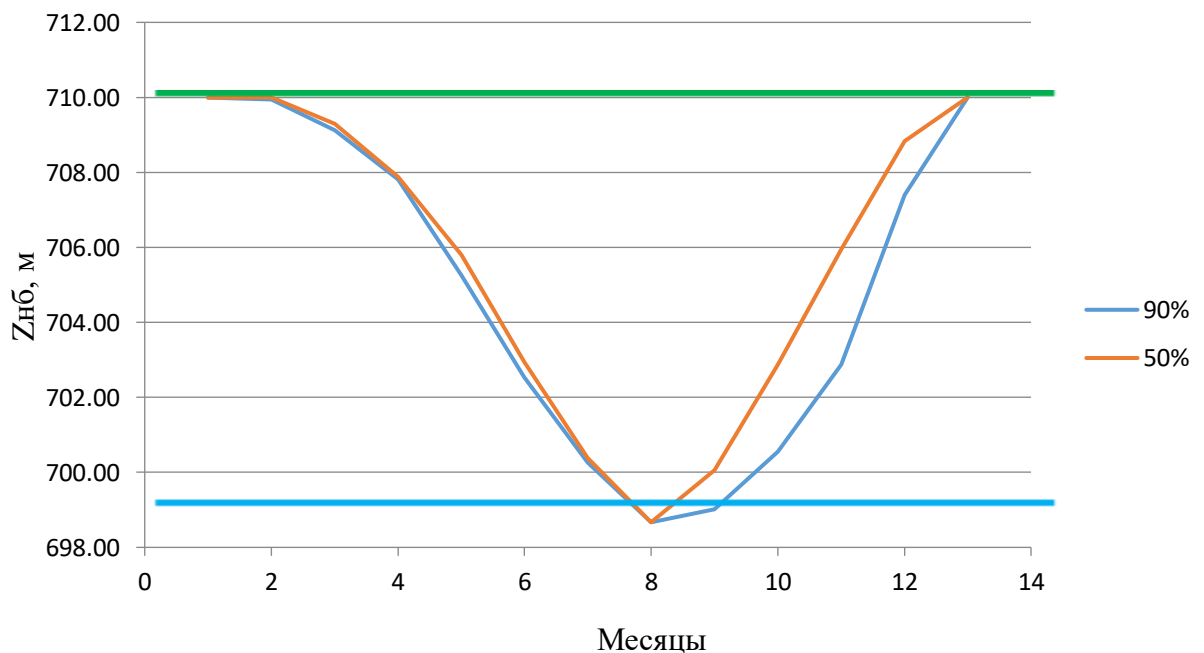


Рисунок 2.4 – График сработки и наполнения водохранилища ГЭС

### 3 Выбор основного и вспомогательного оборудования

#### 3.1 Режимное поле

Чтобы определить область допустимых режимов работы, проектируемой ГЭС нужно построить режимное поле с указанием линий ограничений для разных режимов.

При составлении режимного поля пользуемся методикой из методического пособия «Использование водной энергии». Данные для построения режимного поля приведены в таблице 3.1. На рисунке 3.1 представлено режимное поле.

Таблица 3.1 – Данные для построения режимного поля

| Кривые связи<br>нб для летних и<br>зимних<br>условий |       | Напорные характеристики |       |       | Линия огр. по<br>расчётной<br>Нуст |      | Линия огр. по<br>проп.способн.ГЭС |      | Линия огр.<br>по<br>Qсан.попуск |    |
|--|-------|-------------------------|-------|-------|------------------------------------|------|-----------------------------------|------|---------------------------------|----|
|  |       |                         |       |       |                                    |      |                                   |      |                                 |    |
| Qнб  | Zнб   |                         |       |       |                                    |      |                                   |      |                                 |    |
| 0  | 500,0 | 209,8                   | 198,6 | 204,2 | 208,0                              | 77,6 | 201,0                             | 80,1 | 215                             | 30 |
| 5  | 500,3 | 209,5                   | 198,3 | 203,9 | 207,5                              | 77,8 | 200,6                             | 80,0 | 0                               | 30 |

|    |       |       |       |       |       |      |       |      |  |    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--|----|
| 10 | 500,6 | 209,3 | 198,0 | 203,7 | 207,1 | 77,9 | 200,2 | 79,9 |  | 30 |
| 15 | 500,9 | 209,0 | 197,7 | 203,4 | 206,6 | 78,1 | 199,8 | 79,8 |  | 30 |
| 20 | 501,1 | 208,7 | 197,5 | 203,1 | 206,2 | 78,3 | 199,4 | 79,7 |  | 30 |
| 25 | 501,3 | 208,5 | 197,2 | 202,9 | 205,7 | 78,4 | 199,0 | 79,7 |  | 30 |
| 30 | 501,6 | 208,3 | 197,0 | 202,7 | 205,2 | 78,6 | 198,6 | 79,6 |  | 30 |
| 35 | 501,8 | 208,1 | 196,8 | 202,5 | 204,8 | 78,8 | 198,2 | 79,5 |  | 30 |
| 40 | 502,0 | 207,9 | 196,6 | 202,3 | 204,3 | 79,0 | 197,8 | 79,4 |  | 30 |
| 45 | 502,1 | 207,7 | 196,4 | 202,1 | 203,9 | 79,2 | 197,4 | 79,3 |  | 30 |
| 50 | 502,3 | 207,5 | 196,3 | 201,9 | 203,4 | 79,3 | 197,0 | 79,3 |  | 30 |
| 55 | 502,5 | 207,4 | 196,1 | 201,8 | 202,9 | 79,5 | 196,6 | 79,2 |  | 30 |
| 60 | 502,6 | 207,2 | 196,0 | 201,6 | 202,5 | 79,7 | 196,2 | 79,1 |  | 30 |
| 65 | 502,8 | 207,1 | 195,8 | 201,5 | 202,0 | 79,9 | 195,8 | 79,0 |  | 30 |
| 70 | 502,9 | 207,0 | 195,7 | 201,4 | 201,6 | 80,1 | 195,4 | 78,9 |  | 30 |
| 75 | 503,0 | 206,9 | 195,6 | 201,3 | 201,1 | 80,2 | 195,0 | 78,9 |  | 30 |
| 80 | 503,1 | 206,8 | 195,5 | 201,2 | 200,6 | 80,4 | 194,6 | 78,8 |  | 30 |

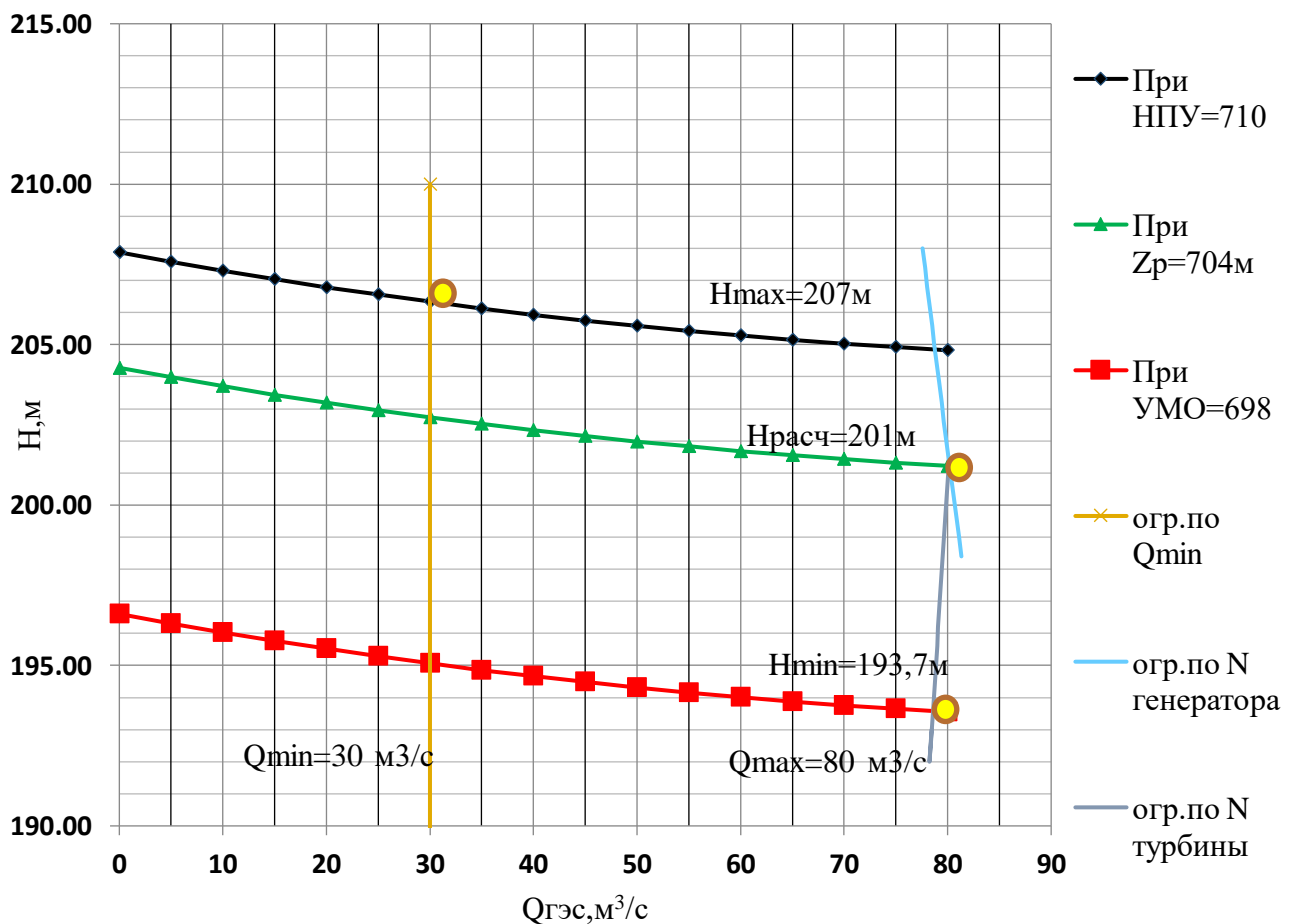


Рисунок 3.1 – Режимное поле Дебедской ГЭС

Основные параметры работы, проектируемой ГЭС исходя из режимного поля представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные параметры работы Дебедской ГЭС

| $H_{max}, \text{м}$ | $H_{расч}, \text{м}$ | $H_{min}, \text{м}$ | $Q_{min}, \text{м}^3/\text{с}$ | $Q_{max}, \text{м}^3/\text{с}$ |
|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 207                 | 201                  | 193,7               | 30                             | 80                             |

### 3.2 Выбор системы и количества гидроагрегатов

Выбор системы и типа турбины производится по максимальному напору, так чтобы значение  $H_{max} = 207 \text{ м}$  было близко к предельному напору  $H_{пред}$  выбранного типа, но не превышало его, т.е.  $H_{max} \leq H_{пред}$ .

Заданным условиям соответствуют турбины РО230а-В и РО230б-В, основные параметры которых представлены в таблице 3.3:

Таблица 3.3 – Параметры выбранных типов модельных гидротурбин

| Параметр             | РО230а-В | РО230б-В |
|----------------------|----------|----------|
| $H_{пред}, \text{м}$ | 230      | 230      |
| $H_{min}/H_{max}$    | 0,65     | 0,65     |

Окончание таблицы 3.3

| Параметр                          | РО230а-В | РО230б-В |
|-----------------------------------|----------|----------|
| $n'_{1 \text{ opt}}, \text{об/м}$ | 66       | 69       |
| $Q_{1 \text{ opt}}, \text{л/с}$   | 535      | 500      |
| $\eta_{\text{opt}}$               | 0,927    | 0,926    |
| $Q'_{1 \text{ max}}, \text{л/с}$  | 640      | 580      |
| $\sigma (Q'_{1 \text{ max}})$     | 0,085    | 0,065    |
| $D_{1 \text{ м}}, \text{м}$       | 0,625    | 0,630    |
| $H_{\text{м}}, \text{м}$          | 4        | 4        |
| $t_{\text{мод}}, \text{°C}$       | 8        | 7        |

На главных универсальных характеристиках турбин намечаем расчетные точки  $P_1$ , предварительно проведя линию через точку оптимума КПД.

РО230а-В:

$$Q'_{(p1)} = 0,68 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad \eta'_{(p1)} = 0,894$$

РО230б-В:

$$Q'_{(p1)} = 0,58 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad \eta'_{(p1)} = 0,898.$$

Далее производим расчет параметров турбины РО230а-В для разных

значений диаметра [1]. Ниже представлен ход расчета для диаметра  $D_1 = 2,24$  м.

КПД натурной гидротурбины:

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_M) \cdot \left( (1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot \sqrt[5]{\frac{D_{1M}}{D_1}} \cdot \sqrt[10]{\frac{H_M}{H_P^N}} \cdot \sqrt[5]{\frac{v_H}{v_M}} \right), \quad (3.1)$$

где  $\eta_M, D_{1M}, H_M$  – КПД, диаметр и напор модельной турбины;  
 $D_1, H_P^N$  – диаметр и расчетный напор натурной турбины;  
 $v_M, v_H$  – коэффициенты кинематической вязкости воды для модельной и натурной гидротурбины, зависящие от температуры воды для натуральных и модельных условий  $t_M; t_H$ ;  
 $\varepsilon$  – коэффициент, выражающий отношение потерь трения ко всем гидравлически потерям и принимаемый равным 0,75.

$$\eta_T = 1 - (1 - 0,894) \cdot \left( 0,25 + 0,75 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,625}{2,24}} \cdot \sqrt[10]{\frac{4}{201}} \cdot \sqrt[5]{\frac{1,3 \cdot 10^6}{1,384 \cdot 10^6}} \right) = 0,932$$

Мощность агрегата в расчетной точке, которую далее пересчитываем после уточнения числа агрегатов:

$$N_a' = 9,81 \cdot Q'_{Iр} \cdot D_1^2 \cdot H_P^{1,5} \cdot \eta_T \cdot \eta_G^{cp}, \quad (3.2)$$

где  $Q'_{Iр}$  – приведенный расход воды в расчетной точке на УХ турбины (см. приложение А);

$D_1, H_P$  – диаметр и расчетный напор натурной турбины;

$\eta_T$  – КПД натурной гидротурбины;

$\eta_G^{cp}$  – средний КПД генератора, принимаемый равным 0,97.

$$N_a' = 9,81 \cdot 0,68 \cdot 2,24^2 \cdot 201^{1,5} \cdot 0,932 \cdot 0,97 = 86 \text{ МВт},$$

Число устанавливаемых на ГЭС агрегатов:

$$z_a' = \frac{N_{уст}^{прГЭС}}{N_a'}, \quad (3.3)$$

где  $N_{уст}^{прГЭС} = 142$  МВт – установленная мощность станции;

$N_a'$  – мощность агрегата в расчетной точке.



$$z_a' = \frac{142}{86} = 1,65$$

Согласно стандарту, округляем число агрегатов, которое должно быть кратно 2 или 3. Следовательно:

$$z_a = 2 \text{ шт.},$$

Далее пересчитываем мощность агрегата:

$$N_a = \frac{142}{2} = 71 \text{ МВт},$$

Поправка на приведенную частоту вращения:

$$\Delta = \frac{\eta_T}{\eta_M}, \quad (3.4)$$

где  $\eta_T$  – КПД натурной гидротурбины;  
 $\eta_M$  – КПД модельной турбины.

$$\Delta = \frac{0,932}{0,894} = 1,043,$$

Синхронная частота вращения турбины:

$$n_c = \frac{n'_{I_p} \cdot \sqrt{H_P \cdot \Delta}}{D_1}, \quad (3.5)$$

где  $n'_{I_p}$  – приведенная частота вращения в расчетной точке на УХ выбранной турбины;  
 $D_1$  – диаметр натурной турбины;  
 $H_P$  – расчётный напор;  
 $\Delta$  – поправка на приведенную частоту вращения;

$$n_c = \frac{66 \cdot \sqrt{201 \cdot 1,043}}{2,24} = 426,6 \text{ об/мин.},$$

Принимаем стандартное значение синхронной частоты:

$$n_c = 428,6 \text{ об/мин.}$$

Далее находим значения приведенной частоты вращения для напоров  $H_{max}$ ,  $H_P^N$ ,  $H_{min}$ , которые необходимо нанести на УХ выбранной турбины:

$$n'_I = \frac{n_c \cdot D_1}{\sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.6)$$

где  $n_c$  – синхронная частота вращения турбины;  
 $H$  – напоры  $H_{max}$ ,  $H_P$ ,  $H_{min}$ ;  
 $\Delta$  – поправка на приведенную частоту вращения.

$$n'_{max} = \frac{429 \cdot 2,24}{\sqrt{193,7 \cdot 1,043}} = 67,5 \text{ об/мин},$$

$$n'_{расч} = \frac{429 \cdot 2,24}{\sqrt{201 \cdot 1,043}} = 66,4 \text{ об/мин},$$

$$n'_{min} = \frac{429 \cdot 2,24}{\sqrt{207 \cdot 1,043}} = 65,4 \text{ об/мин},$$

Окончательное положение расчетной точки на линии  $n'_{Нр}$  с учетом округленного числа агрегатов и уточненной мощности агрегата осуществляется на основании решения следующего уравнения:

$$Q'_I \cdot \eta_T = \frac{N_a}{9,81 \cdot D_1^2 \cdot H_P^{1,5} \cdot \eta_G^{cp}}, \quad (3.7)$$

где  $Q'_I$  и  $\eta_T$  – приведенный расход и КПД модельной гидротурбины, подбором которых и устанавливают окончательное положение расчетной точки на УХ;

$N_a$  – мощность агрегата в расчетной точке;

$D_1$  – диаметр натурной турбины;

$H_P$  – расчетный напор;

$\eta_G^{cp}$  – средний КПД генератора, принимаемый равным 0,97.

$$Q'_I \cdot \eta_T = \frac{71000}{9,81 \cdot 2,24^2 \cdot 201^{1,5} \cdot 0,97} = 0,52$$

Подбираем координаты расчетной точки:

$$\eta_T = 0,923, Q'_I = 0,563 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для полученной расчетной точки необходимо построить линию ограничения по мощности. Для этого на линии  $n'_{Hmin}$ , соответствующей напору  $H_{max}$ , аналогичным образом, подставляя в уравнение вместо  $H_P^N$  напор  $H_{max}$ , находим точку и соединяем ее с расчетной.

$$Q'_i \cdot \eta_T = \frac{71000}{9,81 \cdot 2,24^2 \cdot 207^{1,5} \cdot 0,97} = 0,5$$

Подбираем координаты данной точки:

$$\eta_T = 0,925, Q'_i = 0,42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Линию ограничения по турбине строим проведением через расчетную точку линии, параллельно открытию направляющего аппарата,  $a_0$ .

Все расчеты для рассматриваемых турбин сведены в таблицы 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Результаты расчета параметров оборудования для различных значений  $D_1$  гидротурбины PO230а-В

| Параметр  | Значение |     |   |      |      |      |
|-----------|----------|-----|---|------|------|------|
|           | 1        | 2   | 3 | 4    | 5    | 6    |
| $D_1$ , м | 1,8      | 1,9 | 2 | 2,12 | 2,24 | 2,36 |

Окончание таблицы 3.4

| Параметр                              | Значение |         |         |         |         |         |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                       | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
| $\eta_T$                              | 0,931    | 0,931   | 0,931   | 0,932   | 0,932   | 0,933   |
| $N_a'$ , кВт                          | 55594,2  | 61973,7 | 68700,9 | 77232,7 | 86265,6 | 95799,8 |
| $z_a'$                                | 2,55     | 2,29    | 2,07    | 1,84    | 1,65    | 1,48    |
| $z_a$                                 | 3        | 3       | 2       | 2       | 2       | 2       |
| $N_a$ , кВт                           | 47333    | 47333   | 71000   | 71000   | 71000   | 71000   |
| $\Delta$                              | 1,041    | 1,041   | 1,042   | 1,042   | 1,043   | 1,043   |
| $n'_{c1}$ ,<br>об/мин                 | 530,4    | 502,6   | 477,6   | 450,6   | 426,6   | 405,0   |
| $n_{c1}$ ,<br>об/мин                  | 600      | 500     | 500     | 428,6   | 428,6   | 428,6   |
| $n'_{1Hmax}$ ,<br>об/мин              | 76,00    | 66,84   | 70,34   | 63,95   | 67,56   | 71,16   |
| $n'_{1Hp}$ ,<br>об/мин                | 74,67    | 65,66   | 69,10   | 62,83   | 66,37   | 69,91   |
| $n'_{1Hmin}$ ,<br>об/мин              | 73,58    | 64,70   | 68,09   | 61,91   | 65,40   | 68,89   |
| $Q'_i \cdot \eta_T$<br>( $H_{расч}$ ) | 0,54     | 0,48    | 0,65    | 0,58    | 0,52    | 0,47    |
| $Q'_i \cdot \eta_T$<br>( $H_{max}$ )  | 0,52     | 0,46    | 0,63    | 0,56    | 0,50    | 0,45    |

Таблица 3.5 – Результаты расчета параметров оборудования для различных значений  $D_1$  гидротурбины PO230б-В

| Параметр              | Значение |         |         |         |         |         |
|-----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
| $D_1$ , м             | 1,8      | 1,9     | 2       | 2,12    | 2,24    | 2,36    |
| $\eta_T$              | 0,933    | 0,934   | 0,934   | 0,935   | 0,935   | 0,936   |
| $N_a'$ , кВт          | 47561,4  | 53017,9 | 58771,7 | 66068,9 | 73794,5 | 81948,6 |
| $z_a'$                | 2,99     | 2,68    | 2,42    | 2,15    | 1,92    | 1,73    |
| $z_a$                 | 3        | 3       | 3       | 3       | 2       | 2       |
| $N_a$ , кВт           | 47333    | 47333   | 47333   | 47333   | 71000   | 71000   |
| $\Delta$              | 1,039    | 1,040   | 1,040   | 1,041   | 1,041   | 1,042   |
| $n'_{c1}$ ,<br>об/мин | 554      | 525     | 499     | 471     | 446     | 423     |
| $n_{c1}$ ,<br>об/мин  | 600      | 600     | 500     | 500     | 500     | 428,6   |

Окончание таблицы 3.5

| Параметр                              | Значение |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| $n'_{1Hmax}$ ,<br>об/мин              | 76,1     | 80,3  | 70,4  | 74,6  | 78,8  | 71,2  |
| $n'_{1Hр}$ ,<br>об/мин                | 74,7     | 78,9  | 69,2  | 73,3  | 77,4  | 70,0  |
| $n'_{1Hmin}$ ,<br>об/мин              | 73,6     | 77,7  | 68,1  | 72,2  | 76,3  | 68,9  |
| $Q'_i \cdot \eta_T$<br>( $H_{расч}$ ) | 0,539    | 0,484 | 0,436 | 0,388 | 0,522 | 0,470 |
| $Q'_i \cdot \eta_T$<br>( $H_{max}$ )  | 0,515    | 0,463 | 0,418 | 0,372 | 0,499 | 0,450 |

Из анализа полученных вариантов турбин РО230а-В и РО230б-В, подходящей является РО230а-В-224, т.к. у данной турбины самая оптимальная зона работы.

### 3.3 Проверка работы турбины при минимальном расходе

Линию ограничения по минимальному расходу с режимного поля пересчитаем в координату универсальной характеристики (см. приложение В.1) для двух значений напора  $H_{max}$  и  $H_{min}$  по формуле:

$$Q'_i = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot Z \cdot \sqrt{H \cdot \Delta}}, \quad (3.8)$$

где  $Q_{min}$  – минимальный расход через турбину;  
 $D_1$  – диаметр натурной турбины;  
 $H$  – напор,  $H_{max}$  или  $H_{min}$ ;  
 $\Delta$  – поправка на приведенную частоту вращения натурной турбины;  
 $Z = 1$  – число агрегатов, обеспечивающих минимальный попуск.

Тогда по формуле (3.8) для Р О230а-224:

$$Q'_I = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot Z \cdot \sqrt{H_{max} \cdot \Delta}} = \frac{30}{2,24^2 \cdot \sqrt{207 \cdot 1,04}} = 0,407 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 407 \text{ л/с},$$

$$Q'_I = \frac{Q_{min}}{D_1^2 \cdot Z \cdot \sqrt{H_{min} \cdot \Delta}} = \frac{30}{2,24^2 \cdot \sqrt{193,7 \cdot 1,04}} = 0,42 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 420 \text{ л/с}.$$

При выбранных параметрах турбина РО230а-224 может работать при минимальном расходе, так как линия ограничения, соответствующая приведенным расходам, не выходит за пределы рабочего диапазона универсальной характеристики.

### 3.4 Определение отметки установки рабочего колеса гидротурбины

Отметка расположения рабочего колеса гидротурбины для обеспечения ее безкавитационной работы определяется по формуле:

$$\nabla Z_{\text{р.к.}} = z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}}) + H_S, \quad (3.9)$$

где  $z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})$  – отметка уровня воды в нижнем бьефе при расходе  $Q_{\text{НБ}}$ , соответствующем расчетному значению высоты отсасывания  $H_S$ .

Высота отсасывания рассчитывается для трех случаев, которые требуют Наибольшего заглубления рабочего колеса:

1. работа одного агрегата с максимальной мощностью при  $H_{max}$ ;
2. работа одного агрегата с максимальной мощностью при  $H_p$ ;
3. работа одного агрегата при  $H_{min}$  и соответствующей ему мощности на линии ограничения.

Высоту отсасывания определяем по формуле:

$$H_S = B - \frac{z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})}{900} - \sigma \cdot H - 1,5 + Z_{\text{х.пл.}}, \quad (3.10)$$

где  $B$  – барометрическое давление, равное 10,33 м вод.ст.;  
 $\sigma$  – коэффициент кавитации, определяемый по ГУХ;

$H$  – напор турбины, определяемый уровнем верхнего бьефа и  $z_{\text{НБ}}(Q_{\text{НБ}})$ .  
 $Z_{\text{Х.Пл.}}$  – разность отметок характерных плоскостей модельной и натурной турбин, которая для РО турбин рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{Х.Пл.}} = 0,5 \cdot B_0 \quad (3.11)$$

где  $B_0$  – высота направляющего аппарата натурной гидротурбины, для РО230а диаметром 2,24 метра равна:

$$B_0 = 0,173 \cdot \frac{D_{1\text{Н}}}{D_{1\text{М}}} = 0,173 \cdot \frac{2,24}{0,625} = 0,62 \text{ м} \quad (3.12)$$

Рассчитаем допустимую высоту отсасывания турбины РО230а-224:

$$H_s = 10,33 - \frac{503}{900} - 0,05 \cdot 207 - 1,5 + 0,62 = -1,77 \text{ м},$$

$$H_s = 10,33 - \frac{503}{900} - 0,048 \cdot 201 - 1,5 + 0,62 = -1,07 \text{ м},$$

$$H_s = 10,33 - \frac{503}{900} - 0,045 \cdot 193,7 - 1,5 + 0,62 = -0,15 \text{ м},$$

Результаты расчета высот отсасывания сводим в таблицу 3.6

Таблица 3.6 – Результаты расчета высоты отсасывания

| Тип турбины | $\eta$ | $D_1$ , м | $Z_a$ , шт | $n_c$ , об/мин | $N_a$ , МВт | $H_{s1}$ , м | $H_{s2}$ , м | $H_{s3}$ , м |
|-------------|--------|-----------|------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| РО230а-224  | 0,92   | 2,24      | 2          | 429            | 71000       | -1,77        | -1,07        | -0,15        |

За окончательное значение высоты отсасывания следует принять наименьшее из полученных значений. Исходя из таблицы 3.6 наименьшая  $H_s = -1,77$  м, следовательно:

$$Z_{\text{рк}} = 503 + (-1,77) = 501,23 \text{ м}.$$

### 3.5 Выбор типа серийного гидрогенератора

Гидрогенератор подбирается по справочным данным серийных типов по расчетному значению его номинальной мощности и синхронной частоте вращения.

Номинальная мощность гидрогенератора:

$$S_{\text{ном}} = \frac{N_a}{\cos\varphi} = \frac{71}{0,85} = 83,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}, \quad (3.13)$$

Число полюсов гидрогенератора

$$p = \frac{6000}{n_c} = \frac{6000}{428,6} = 14. \quad (3.14)$$

По справочным данным выбираем гидрогенератор: ВГС475/210 14, данные которого представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Номинальные данные гидрогенератора ВГС475/210 14

| Наименование величины         | Обозначение            | Значение |
|-------------------------------|------------------------|----------|
| Номинальная полная мощность   | $S_{\text{НОМ}}$ , МВА | 94       |
| Номинальная активная мощность | $P_{\text{НОМ}}$ , МВт | 80       |
| Коэффициент мощности          | $\cos\varphi$ , о. е.  | 0,85     |
| Номинальное напряжение        | $U_{\text{НОМ}}$ , кВ  | 13,8     |

Окончание

таблицы 3.7

| Наименование величины         | Обозначение               | Значение |
|-------------------------------|---------------------------|----------|
| Номинальный ток               | $I_{\text{НОМ}}$ , кА     | -        |
| Номинальная частота вращения  | $n_{\text{НОМ}}$ , об/мин | 428,6    |
| Сопротивление обмотки статора | $X_d$ , о. е.             | 1,3      |
| Переходное сопротивление      | $X'_d$ , о. е.            | 0,3      |
| Сверхпереходное сопротивление | $X''_d$ , о. е.           | 0,18     |

### 3.6 Расчет спиральной камеры

Исходные данные:

Таблица 3.8 – Исходные данные для расчёта спиральной камеры

| $N_p$ , кВт | $H_p$ , м | $D_1$ , м | $b_0$ , м |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 71000       | 201       | 2,24      | 0,3875    |

$$Q_p = \frac{N}{9,81 \cdot H_p}, \quad (3.15)$$

$$Q_p = \frac{71000}{9,81 \cdot 201} = 36 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Основные размеры статора указаны в таблице 3.9:

Таблица 3.9 – Основные размеры статора

| $D_a, \text{ м}$ | $D_b, \text{ м}$ | $D_4, \text{ м}$ | $R_4, \text{ м}$ | $R, \text{ м}$ | $h_1, \text{ м}$ |
|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| 3,75             | 3,2              | 4                | 2                | 0,2            | 0,23             |

Определяем высоту статора:

$$b_1 = b_0 + 0,02 = 0,3875 + 0,02 = 0,4075 \text{ м}; \quad (3.16)$$

$$H_1 = b_1 + 2 \cdot h_1 = 0,4075 + 2 \cdot 0,23 = 0,87 \text{ м}; \quad (3.17)$$

По графику для определения допустимых скоростей во входном сечении металлической спиральной камеры определяем скорость:

$$v_{\text{ср}} = 10,1 \text{ м/с}.$$

Расход через входное сечение:

$$Q_{\text{вх}} = Q_p \cdot \frac{\varphi}{360}; \quad (3.18)$$

$$Q_{\text{вх}} = 36 \cdot \frac{343}{360} = 34,5 \text{ м}^3/\text{с};$$

Площадь входного сечения:

$$F_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (3.19)$$

$$F_{\text{вх}} = \frac{34,5}{10,1} = 3,4 \text{ м}^2.$$

Радиус входного сечения:

$$r_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{F_{\text{вх}}}{\pi}}; \quad (3.20)$$

$$r_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{3,4}{3,14}} = 1,04 \text{ м};$$

Расстояние от оси турбины до центра входного сечения:

$$a = R_4 + \sqrt{r_{\text{вх}}^2 - \left(\frac{H_1}{2}\right)^2}, \quad (3.21)$$



$$a = 2 + \sqrt{1,04^2 - \left(\frac{0,87}{2}\right)^2} = 2,95 \text{ м.}$$

Наружный радиус входного сечения:

$$R_{\text{вх}} = a + r_{\text{вх}}, \quad (3.22)$$

$$R_{\text{вх}} = 2,95 + 1,04 = 4 \text{ м.}$$

Значение  $1/c$ :

$$\frac{1}{c} = \frac{360 \cdot (a - \sqrt{a^2 - r_{\text{вх}}^2})}{\varphi}, \quad (3.21)$$

$$\frac{1}{c} = \frac{360 \cdot (2,95 - \sqrt{2,95^2 - 1,04^2})}{343} = 0,182$$

$$\varphi = \frac{\varphi_{\text{вх}}}{360} = \frac{343}{360} = 0,953 \quad (3.22)$$

Последовательно задавая ряд значений углов, рассчитывают все сечения камеры. Расчет эллиптических сечений спиральной камеры представлены в таблице В2 (приложении В)

Для расчета эллиптических сечений требуется определить  $R$  для каждого угла спирали. Строим график зависимости  $R = f(\varphi^\circ)$  исходя из данных таблицы и примерно продляем до нормального вида. График зависимости  $R = f(\varphi^\circ)$  представлен на рисунке 3.2.

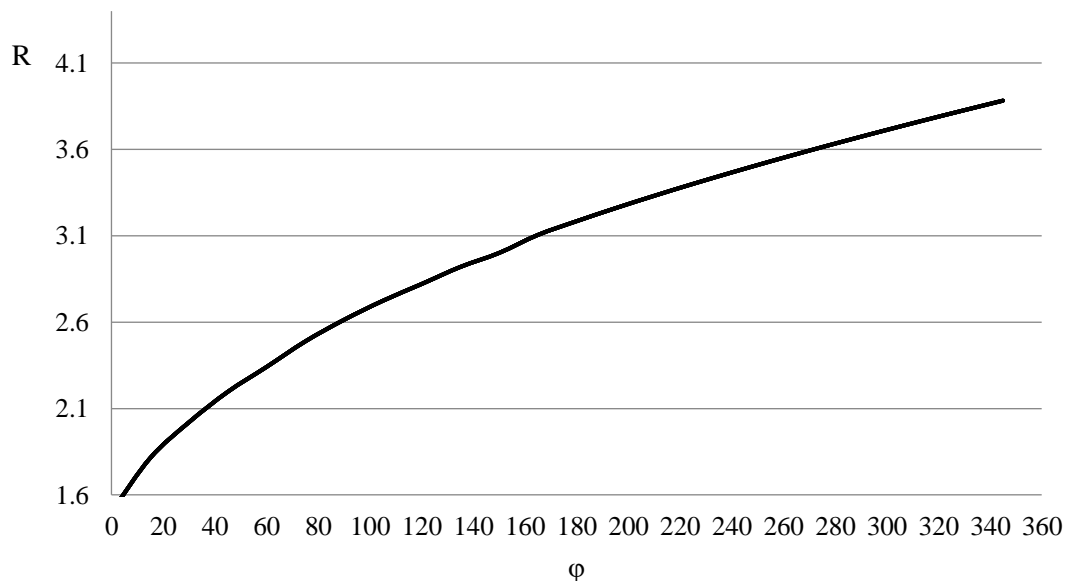


Рисунок 3.2 – График зависимости  $R = f(\varphi^\circ)$

Размеры эллиптических сечений:

$$p_1 = \frac{\frac{H_1}{2}}{\sin 35} = \frac{0,87}{0,57} = 0,76 \text{ м}, \quad (3.23)$$

где  $p_1$  – сохраняем постоянным для всех эллиптических сечений.

Величина  $p_2$  переменна и зависит от радиуса  $R$  наружного контура спиральной камеры:

$$p_2 = \frac{R - [R_4 + p_1 \cdot (1 - \cos 35)]}{2 \cdot \cos 35}, \quad (3.24)$$

Значения  $R$  определяем по зависимости  $R = f(\varphi^\circ)$ .

Расчеты размеров эллиптических сечений представлены в таблице 3.10

Таблица 3.10 – Расчеты размеров эллиптических сечений

| $\varphi$ | $p_1$ | $R$ | $p_2$ |
|-----------|-------|-----|-------|
| 148       | 0,76  | 3,0 | 0,92  |
| 133       |       | 2,9 | 0,84  |
| 118       |       | 2,8 | 0,73  |
| 103       |       | 2,7 | 0,64  |
| 88        |       | 2,6 | 0,53  |
| 73        |       | 2,5 | 0,40  |
| 58        |       | 2,3 | 0,24  |
| 43        |       | 2,2 | 0,11  |

Постоянная спиральной камеры:

$$K = \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot 1/C}, \quad (3.25)$$

$$K = \frac{36}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,182} = 31,56 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Угол потока в спиральной камере (на входе в колонны статора):

$$\text{tg } \delta = \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b_1}, \quad (3.26)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{36}{2 \cdot 3,14 \cdot 31,56 \cdot 0,4075} = 0,4457.$$

Угол потока на входе  $\delta = 24^\circ$ .

По полученным данным строим металлическую спиральную камеру (рисунок В3 в приложении В).

### 3.7 Выбор типа маслонапорной установки

Маслонапорная установка (МНУ), является одним из наиболее крупных элементов системы регулирования гидротурбин. Её габаритные размеры определяются объёмом масловоздушного котла, зависящего от суммарного объёма сервомоторов, обслуживаемых одной МНУ.

По монограмме, представленной в справочном пособии «Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций», часть 1, стр. 144 [2] определяем тип МНУ:

МНУ 1,6/1-40-2,5-2 – это маслонапорная установка с гидроаккумулятором вместимостью  $1,6 \text{ м}^3$ , состоящим из 1 сосуда на давление 4 МПа ( $40 \text{ кгс/см}^2$ ), с маслонасосным агрегатом ГА 1,6/1-40, имеющим сливной бак вместимостью  $2,5 \text{ м}^3$  с 2 насосами.

### 3.8 Выбор электрогидравлического регулятора

По справочным данным [5] (таблица 9.2, стр. 103), определяем тип ЭГР.

Для радиально-осевой турбины с диаметром  $D_1=2,24 \text{ м}$ : это ЭГР-2И1-150-4; тип панели электрооборудования ЭГР-2И1 (на интегральных микросхемах); тип гидромеханической колонки управления ЭГР-150-4.

### 3.9 Расчёт вала на прочность

Вал является одним из наиболее ответственных элементов гидротурбины. Расчет вала на прочность производим с учетом совместного действия скручивающих, изгибающих и растягивающих усилий.

Крутящий момент:

$$M_{\text{кр}} = 0,00974 \cdot \frac{N}{n_{\text{синх}}} = 0,00974 \cdot \frac{71000}{428,6} = 1,63 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (3.27)$$

Наружный диаметр вала (предварительно):

$$D_{\text{в}}^* \geq \left( \frac{5,1 \cdot M_{\text{кр}}}{\tau_{\text{доп}}} \right)^{0,33} = \left( \frac{5,1 \cdot 1,63}{33} \right)^{0,35} = 0,615 \text{ м}, \quad (3.28)$$

где  $\tau_{\text{доп}} = 30 \div 35 \text{ МПа}$ ;

Полученное значение диаметра вала округляется до стандартизированного:

$$D_B = 650 \text{ мм.}$$

### 3.10 Расчёт подшипника

При расчете подшипника определяем его размеры и проверяем по критерию работоспособности.

Радиальную силу на рабочем колесе определяем по эмпирической зависимости:

$$R_{\text{рад}} = \frac{0,8 \cdot N}{n_{\text{синх}} \cdot D_1} = \frac{0,8 \cdot 71000}{428,6 \cdot 2,24} = 59,2 \text{ кН.} \quad (3.29)$$

Диаметр вала под подшипником  $d_{\text{п}}$ , с учетом облицовки, обычно принимается на  $(15 \div 20)$  мм больше  $D_г$ :

$$d_{\text{п}} = D_г + 0,02 = 0,65 + 0,02 = 0,67 \text{ м.} \quad (3.30)$$

Для кольцевого подшипника удельное давление равно:

$$p_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{рад}}}{d_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}} = \frac{59,2}{0,67 \cdot 0,3} = 294,3 \text{ кПа,} \quad (3.31)$$

где  $h_{\text{п}} = 0,3$  м, взят по справочным таблицам в соответствии с  $D_г$ .

Для кольцевых подшипников экспериментально получено, что допускаемое  $[p_{\text{уд}}]$  равно:

$$[p_{\text{уд}}] = 29 \cdot U = 29 \cdot 30,06 = 871,6 \text{ кПа,} \quad (3.32)$$

$$\text{где } U = \frac{\pi \cdot n_{\text{синх}} \cdot d_{\text{п}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 428,6 \cdot 0,67}{30} = 30,06 \text{ м/сек.} \quad (3.33)$$

Тогда:

$$p_{\text{уд}} < [p_{\text{уд}}] \rightarrow 294,3 < 871,6 \text{ кПа} \rightarrow \text{условие выполнено.}$$

Выполним расчет сегментного подшипника.

Определим усилие на наиболее нагруженный сегмент:

$$R_1 = \frac{R \text{ рад}}{(1 + 2\cos \alpha + 2\cos(2\alpha))} \quad (3.34)$$

$$R_1 = \frac{59,2}{1 + 2\cos\left(\frac{360}{8}\right) + 2\cos\left(2 \cdot \frac{360}{8}\right)} = 24,5 \text{ кН.}$$

Рассчитывается удельная нагрузка на сегмент:

$$p_{y\partial} = \frac{R_{рад}}{l_{сегм} \cdot h_{п}} = \frac{59,2}{0,224 \cdot 0,3} = 882,3 \text{ кПа,} \quad (3.35)$$

где  $l_{сегм}$  - длина сегмента в окружном направлении, причем

$$l_{сегм} = \frac{0,85 \cdot \pi \cdot d_{п}}{Z_{сегм}} = \frac{0,85 \cdot 3,14 \cdot 0,67}{8} = 0,224 \text{ м.} \quad (3.36)$$

Для сегментных подшипников экспериментально получено, что допускаемое  $[p_{уд}]$  равно:

$$[p_{уд}] = 50 \cdot U = 50 \cdot 30,06 = 1502,8 \text{ кПа,} \quad (3.37)$$

Тогда:

$$p_{уд} < [p_{уд}] \rightarrow 882,3 < 1502,8 \text{ кПа} \rightarrow \text{условие выполнено.}$$

Направляющий подшипник турбины, предназначен для восприятия радиальных нагрузок. По расчетам видно, что ни в одном из подшипников удельное давление не превышает допустимого значения ( $p_{уд} > [p_{уд}]$ ). Для установки выбираем сегментный подшипник, т.к. сегментные подшипники более технологичны, менее трудоемки при изготовлении и удобнее в эксплуатации на ГЭС.

### 3.11 Определение диаметра деривационного туннеля

Трасса деривационного туннеля выбрана, исходя из наименьшей длины, при обеспечении наибольшего перепада отметок верхнего и нижнего бьефов. Экономически наиболее выгодный диаметр туннеля определен по формуле (3.38).

$$D_T = \sqrt[7]{\frac{5,2 \cdot Q_{\max}^3}{H}}, \quad (3.38)$$

где  $Q_{\max p}$  – максимальный основной расход, принимается из режимного поля (рис.3.1) ;

$$D_T = \sqrt[7]{\frac{5,2 \cdot 80^3}{207}} = 3,87 \text{ м.}$$

Полученное значение округляем в большую сторону и принимаем стандартное значение:

$$D_T = 4 \text{ м}$$

### 3.12 Заглубление водозабора на величину воронкообразования

Средняя скорость воды в туннеле:

$$v_T = \frac{4 \cdot Q_{\max p}}{\pi \cdot D_T^2} = \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 4^2} = 6,37 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.39)$$

Минимальная разность отметки УМО и верхней кромки водовода:

$$H_{кр} = 0,5 \cdot D_T \cdot \left( \frac{v_T}{\sqrt{g \cdot D_T}} \right)^{0,55} = 0,5 \cdot 4 \cdot \left( \frac{6,37}{\sqrt{9,81 \cdot 4}} \right)^{0,55} = 2,02 \text{ м} \quad (3.40)$$

### 3.13 Выбор конструктивной схемы компоновки гидротурбины

Конструктивная схема компоновки гидротурбины определяется в соответствии с ОСТ 108.023.06-84 [3].

При диаметре  $D_1 = 2,24$  м и подвесном типе генератора выбирается 7 схема компоновки турбины при которой подпятник расположен на верхней крестовине.

Верхний подшипник генератора расположен в верхней крестовине.

## 4 Компонировка и сооружения гидроузла

Для проведения требуемых расчётов сначала необходимо определить класс гидротехнического сооружения (ГТС).

Число постоянно проживающих людей, которые могут пострадать при аварии на ГЭС приблизительно 7000 человек. Присваивается I класс сооружения, так как численность людей более 3000.

$N_{уст} = 142$  МВт, что соответствует III классу сооружения.

В конечном итоге Дебедский гидроузел будет относиться к I классу сооружений.

### 4.1 Проектирование сооружений напорного фронта

#### 4.1.1 Определение отметки гребня плотины

За отметку гребня бетонной плотины принимается отметка, вычисленная по формуле:

$$\nabla_{ГБП} = \nabla_{ФПУ} + h_s, \quad (4.1)$$

где  $h_s$  – превышение гребня плотины над расчетным уровнем в верхнем бьефе.

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{1\%} + a, \quad (4.2)$$

где  $\Delta h_{set}$  – высота ветрового нагона;  
 $h_{1\%}$  – высота наката волн на напорной грани;  
 $a$  – конструктивный запас,  $a = 0,8$  м.

Определим высоту ветрового нагона волны для основного сочетания нагрузок по формуле:

$$\Delta h_{set} = K_W \cdot \frac{v^2 \cdot L}{g \cdot d} \cdot \cos \alpha_w, \quad (4.3)$$

где  $v = 20$  м/с – расчетная скорость ветра;  
 $K_W$  – коэффициент, зависящий от скорости ветра, равный:

$$K_W = 3 \cdot (1 + 0,3 \cdot v) \cdot 10^{-7} = 0,0000021; \quad (4.4)$$

$L = 867$  м – длина разгона волны;  
 $\alpha_w = 0^\circ$ ;  
 $d$  – средняя глубина водохранилища перед плотиной для основного сочетания нагрузок:

$$d = \frac{V_{НПУ} - V_{ДНА}}{2} = \frac{710 - 660}{2} = 25 \text{ м}. \quad (4.5)$$

Высота ветрового нагона волны в ВБ равна для основного сочетания нагрузок:

$$\Delta h_{set} = 0,0000021 \cdot \frac{20^2 \cdot 867}{9,81 \cdot 25} \cdot \cos 0^\circ = 0,003 \text{ м}$$

Для нахождения  $k_i$  найдём безразмерные величины  $\frac{gL}{v^2}, \frac{gt}{v}$ :

$$\frac{g \cdot L}{v^2} = \frac{9,81 \cdot 867}{25^2} = 21,26, \quad (4.6)$$

$$\frac{g \cdot t}{v} = \frac{9,81 \cdot 21600}{25} = 10594,8, \quad (4.7)$$

где  $t$  – период действия ветра, принимается равным  $t = 21600$  с.

По верхней огибающей кривой графика снимаем величины  $\frac{g\bar{h}}{v^2}$  и  $\frac{g\bar{T}}{v}$  для

полученных значений  $\frac{gL}{v^2}$  и  $\frac{gt}{v}$ :

$$\frac{q\bar{h}}{v^2} = 0,009$$



$$\frac{q\bar{T}}{v} = 1,02$$

Средняя высота волны:

$$\bar{h} = \frac{0,009 \cdot v^2}{g} = \frac{0,009 \cdot 20^2}{9,81} = 0,367 \text{ м} \quad (4.8)$$

Средний период волны:

$$\bar{T} = \frac{1,02 \cdot v}{g} = \frac{1,02 \cdot 20}{9,81} = 2,08 \text{ с} \quad (4.9)$$

Найдем среднюю длину волны по формуле:

$$\bar{\lambda} = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 2,08^2}{2 \cdot 3,14} = 6,76 \text{ м} \quad (4.10)$$

Проверка на глубоководность:

$$d \geq \frac{\bar{\lambda}}{2}; \quad 25 \geq 3,38 \text{ условие выполняется, значит, зона глубоководная.}$$

Высота волны 1% обеспеченности в системе волн глубоководной зоны:

$$h_{1\%} = k_i \cdot \bar{h} = 2,1 \cdot 0,367 = 0,77 \text{ м}, \quad (4.11)$$

где  $k_i = 2,1$  – коэффициент, определяемый по графику в зависимости от значения  $\frac{gL}{v^2}$ .

Превышение гребня бетонной плотины над расчетным уровнем в верхнем бьефе:

$$h_s = 0,003 + 0,77 + 0,8 = 1,4 \text{ м}$$

Определим высоту ветрового нагона волны для особого сочетания нагрузок по формуле:

$$\Delta h_{set} = K_W \cdot \frac{v^2 \cdot L}{g \cdot d} \cdot \cos \alpha_w, \quad (4.3)$$

где  $v = 20 \text{ м/с}$  – расчетная скорость ветра;

$K_W$  – коэффициент, зависящий от скорости ветра, равный:

$$K_W = 3 \cdot (1 + 0,3 \cdot v) \cdot 10^{-7} = 0,0000021 \quad (4.4)$$

$L = 867$  м – длина разгона волны;

$$\alpha_w = 0^\circ;$$

$d$  – средняя глубина водохранилища перед плотиной при поверочном случае:

$$d = \frac{\nabla_{\text{ФПУ}} - \nabla_{\text{ДНА}}}{2} = \frac{712 - 660}{2} = 26 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Высота ветрового нагона волны в ВБ равна для основного сочетания нагрузок:

$$\Delta h_{\text{set}} = 0,0000021 \cdot \frac{20^2 \cdot 867}{9,81 \cdot 25} \cdot \cos 0^\circ = 0,003 \text{ м.}$$

Для нахождения  $k_i$  найдём безразмерные величины  $\frac{gL}{v^2}, \frac{gt}{v}$ :

$$\frac{g \cdot L}{v^2} = \frac{9,81 \cdot 867}{25^2} = 21,26, \quad (4.6)$$

$$\frac{g \cdot t}{v} = \frac{9,81 \cdot 21600}{25} = 10594,8, \quad (4.7)$$

где  $t$  – период действия ветра, принимается равным  $t = 21600$  с.

По верхней огибающей кривой графика снимаем величины  $\frac{q\bar{h}}{v^2}$  и  $\frac{q\bar{T}}{v}$  для

полученных значений  $\frac{gL}{v^2}$  и  $\frac{gt}{v}$ :

$$\frac{q\bar{h}}{v^2} = 0,009$$

$$\frac{q\bar{T}}{v} = 1,02$$

Средняя высота волны:

$$\bar{h} = \frac{0,009 \cdot v^2}{g} = \frac{0,009 \cdot 20^2}{9,81} = 0,367 \text{ м} \quad (4.8)$$

Средний период волны:

$$\bar{T} = \frac{1,02 \cdot v}{g} = \frac{1,02 \cdot 20}{9,81} = 2,08 \text{ с} \quad (4.9)$$

Найдем среднюю длину волны по формуле:

$$\bar{\lambda} = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2\pi} = \frac{9,81 \cdot 2,08^2}{2 \cdot 3,14} = 6,76 \text{ м} \quad (4.10)$$

Проверка на глубоководность:

$$d \geq \frac{\bar{\lambda}}{2}; \quad 26 \geq 3,38 \text{ условие выполняется, значит, зона глубоководная.}$$

Высота волны 1% обеспеченности в системе волн глубоководной зоны:

$$h_{1\%} = k_i \cdot \bar{h} = 2,1 \cdot 0,367 = 0,77 \text{ м}, \quad (4.11)$$

где  $k_i = 2,1$  – коэффициент, определяемый по графику в зависимости от значения  $\frac{gL}{v^2}$ .

Превышение гребня бетонной плотины при поверочном случае в верхнем бьефе:

$$h_s = 0,003 + 0,77 + 0,8 = 1,4 \text{ м}$$

Таким образом, отметка гребня бетонной плотины равна по волне:

$$\nabla_{\text{ГБП}} = 712 + 1,4 = 713,4 \text{ м.}$$

## 4.2 Гидравлические расчёты

### 4.2.1 Определение ширины водосливного фронта

Расчетный расход через водосбросную плотину:

$$Q_{\text{осн.расч}} = Q_{\text{max.осн}} - (n - 1) \cdot Q_{\text{га}} - \frac{V_{\text{пол}}}{t_{\text{сп}}}, \quad (4.12)$$

где  $Q_{max.осн}$  – максимальный основной расход с учетом трансформации паводка, принимаемый при обеспеченности 0,1% для I класса сооружений;  
 $n$  – количество гидроагрегатов на станции;  
 $Q_{ca}$  – пропускная способность одного агрегата.

$$Q_{осн.расч} = 164,65 - 36 \cdot (2 - 1) - 22,05 = 106,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{Q_{осн.расч}}{q_B}, \quad (4.13)$$

где  $q_B$  – удельный расход на водосливе;  
 $q_p$  – удельный расход на рисберме;  
 $h_{нб}$  – глубина воды в НБ, определяемая по кривой  $V_{НБ} = f(Q_{НБ})$ , при  $Q_{max.осн}$ ;  
 $v_{доп}$  – допустимая скорость на рисберме, равная 5 м/с, т.к. грунт, слагающий дно реки – гранит.

Удельный расход на рисберме:

$$q_p = v_{доп} \cdot h_{нб} = 5 \cdot 3,92 = 19,6 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.14)$$

Удельный расход на водосливе:

$$q_B = 1,25 \cdot q_p = 1,25 \cdot 19,6 = 24,5 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.15)$$

Ширина водосливного фронта:

$$B = \frac{106,6}{24,5} = 4,35 \approx 8 \text{ м}$$

Разбиваем водосливной фронт на отдельные отверстия, приводя ширину пролета к стандартному значению, при этом фронт должен быть больше или равен расчетному.

$$B = n \cdot b = 2 \cdot 4 = 8 \text{ м} \quad (4.16)$$

где  $n$  – число пролётов;  
 $b$  – стандартная ширина пролёта, принимается 4 м.

Ширина водосливного фронта с учётом и быков:

$$B_B = n \cdot b + (n - 1) \cdot \delta_B = 2 \cdot 4 + (2 - 1) \cdot 3 = 11 \text{ м}, \quad (4.17)$$

где  $\delta_B$  – толщина быка в зависимости от пролета, равна:

$$\delta_B = 0,25 \cdot b = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ м} \quad (4.18)$$

Принимаем разрезной бык с  $\delta_B = 3 \text{ м}$ .

#### 4.2.2 Расчёт донного водосброса

По формуле (4.19) определяют площадь водосбросных отверстий  $\omega_{\text{во}}$ , затем назначают их число и размеры водосбросного отверстия.

$$Q = \mu \omega_{\text{во}} \sqrt{2gH_{\text{во}}} \quad (4.19)$$

$$\omega_{\text{во}} = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH_{\text{во}}}} = \frac{22}{0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 46,5}} = 0,91 \text{ м}^2, \quad (4.20)$$

где  $Q$  – расход через аварийный водосброс, м<sup>3</sup>/с;  
 $\omega_{\text{во}}$  – площадь выходных отверстий, м<sup>2</sup>;  
 $\mu$  – коэффициент расхода, равный 0,8.  
 $H_{\text{во}}$  – напор над центром выходного отверстия:

$$H_{\text{во}} = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{ВО} = 710 - 663,5 = 46,5 \text{ м}, \quad (4.21)$$

где  $\nabla \text{ВО}$  – отметка центра выходного водосбросного отверстия, равная:

$$\nabla \text{ВО} = \nabla \text{ПО} + \frac{h_{\text{во}}}{2} = 662 + \frac{3}{2} = 663,5 \text{ м}, \quad (4.22)$$

где  $h_{\text{во}} = 3 \text{ м}$  – высота отверстия, принятая предварительно, м;  
 $\nabla \text{ПО}$  – отметка порога отверстия, равная:

$$\nabla \text{ПО} = \nabla \text{ДНА} + h_{\text{п}} = 660 + 2 = 662 \text{ м}, \quad (4.23)$$

где  $h_{\text{п}} = 2 \text{ м}$  – высота порога, м.

Ширина выходного отверстия:

$$b'_{\text{во}} = \frac{\omega_{\text{во}}}{h_{\text{во}}} = \frac{0,91}{3} = 0,3 \text{ м} \quad (4.24)$$

Количество донных водосбросов по стандарту  $n=2$ . Ширина одного донного отверстия водосброса:

$$b_{\text{во}} = \frac{b'_{\text{во}}}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ м} \quad (4.25)$$

Окончательно принимаем  $b_{\text{во}} = 2 \text{ м}$ .

В итоге принимаем два водовыпуска квадратного сечения, высота которых 3 м, ширина 2 м соответственно. При этом площадь одного сечения 6 м<sup>2</sup>.

### 4.2.3 Определение отметки гребня водослива

Определяем напор на гребне водослива без учёта сжатия и подтопления:

$$H_{01} = \left( \frac{Q_{\text{осн.расч}}}{\sigma_{\text{н}} \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot m \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.26)$$

$$H_{01} = \left( \frac{106,6}{0,49 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,81} \right)^{2/3} = 3,35 \text{ м},$$

где  $m = 0,49$  – коэффициент расхода для водослива практического профиля.

Определяем напор на гребне водослива с учётом сжатия и подтопления:

$$H_{02} = \left( \frac{Q_{\text{осн.расч}}}{m \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.27)$$

где  $\sigma_{\text{н}} = 1$  – коэффициент подтопления;

$\sigma_{\text{н}}$  – коэффициент бокового сжатия, зависящий от условий входа, определяем по формуле:

$$\sigma_{\text{н}} = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi_y + (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b}, \quad (4.28)$$

$$\sigma_{\text{н}} = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 + (2 - 1) \cdot 0,45}{10} \cdot \frac{3,35}{4} = 0,90,$$

где  $b$  – ширина пролёта;

$n$  – число пролётов;

$\xi_y = 0,7$  – коэффициент формы боковых устоев;

$\xi_0 = 0,45$  – коэффициент, зависящий от расположения быка в плане.

Напор перед водосливом:

$$H_{02} = \left( \frac{106,6}{0,49 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot 8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,59 \text{ м}$$

Напор на гребне водослива определяется как:

$$H_B = H_{02} - \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g}, \quad (4.29)$$

где 
$$v_0 = \frac{Q_{\text{осн.расч}}}{(\nabla\text{НПУ} - \nabla\text{ДНО})(B + (n - 1) \cdot \delta_B)} \quad (4.30)$$

Скорость подхода потока перед водосливом:

$$v_0 = \frac{106,6}{(710 - 660)(8 + (2 - 1) \cdot 3)} = 0,19 \text{ м/с.}$$

Напор на гребне водослива:

$$H_B = 3,59 - \frac{1,1 \cdot 0,19^2}{2 \cdot 9,81} = 3,59 \text{ м}$$

Стандартное значение  $H_{\text{ст}} = 4 \text{ м.}$

Отметку гребня водослива определяем по формуле:

$$\nabla\text{ГВ} = \nabla\text{НПУ} - H_{\text{ст}} = 710 - 4 = 706 \text{ м} \quad (4.31)$$

Отметка гребня быка бетонной водосливной плотины:

$$\nabla\text{ГБ} = \nabla\text{ГВ} + 1,6 \cdot H_{\text{ст}} = 706 + 1,6 \cdot 4 = 712,4 \text{ м} \quad (4.32)$$

Устанавливаем проектную отметку гребня плотины напорного фронта – наибольшую из:  $\nabla\text{ГБ} = 712,4 \text{ м}$  и  $\nabla\text{ГБП} = 713,4 \text{ м}$ , и округляем в большую сторону.

За отметку плотины принимаем:  $\nabla\text{ГБ} = 714 \text{ м.}$

#### **4.2.4 Проверка на пропуск расчётного расхода при поверочном расчётном случае.**

Поверочный расход через водосбросную плотину:

$$Q_{p.пов} = Q_{max.пов} - Q_{га} - \frac{V_{пол}}{t_{cp}}, \quad (4.33)$$

где  $Q_{max.пов}$  – максимальный основной расход с учетом трансформации паводка, принимаемый при обеспеченности 0,01% для I класса сооружений;

$n$  – количество гидроагрегатов на станции;

$Q_{га}$  – пропускная способность одного агрегата.

$$Q_{p.пов} = 186,03 - 36 - \frac{0,4 \cdot 10^9}{7 \cdot 2592000} = 128 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определяем напор над гребнем водослива при пропуске поверочного расхода:

$$H_{01} = \left( \frac{Q_{p.пов}}{\sigma_H \cdot \sigma_n \cdot m \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (4.34)$$

$$H_{01} = \left( \frac{128}{1 \cdot 1 \cdot 0,49 \cdot 8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 3,79 \text{ м}$$

где  $m = 0,49$  – коэффициент расхода для водослива практического профиля.

Определяем напор на гребне водослива с учётом сжатия и подтопления:

$$H_{02} = \left( \frac{Q_{p.пов}}{m \cdot \sigma_H \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (4.35)$$

где  $\sigma_n = 1$  – коэффициент подтопления;

$\sigma_H$  – коэффициент бокового сжатия, зависящий от условий входа, определяем по формуле:

$$\sigma_H = 1 - 0,2 \cdot \frac{\xi_y + (n - 1) \cdot \xi_0}{n} \cdot \frac{H_{01}}{b}, \quad (4.36)$$

$$\sigma_H = 1 - 0,2 \cdot \frac{0,7 + (2 - 1) \cdot 0,45}{2} \cdot \frac{3,79}{4} = 0,89,$$

где  $b$  – ширина пролёта;

$n$  – число пролётов;

$\xi_y = 0,7$  – коэффициент формы боковых устоев;

$\xi_0 = 0,45$  – коэффициент, зависящий от расположения быка в плане.



$$H_{02} = \left( \frac{128}{0,49 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 4,05 \text{ м}$$

Напор на гребне водослива без учета скорости подхода при пропуске поверочного расхода:

$$H_{\text{пов}} = H_{02} - \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g}, \quad (4.37)$$

где 
$$v_{0\text{пов}} = \frac{Q_{\text{р.пов}}}{(\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{ДНО})(B + (n - 1) \cdot \delta_{\text{Б}})} \quad (4.38)$$

Скорость подхода потока перед водосливом:

$$v_{0\text{пов}} = \frac{128}{(712 - 660)(8 + (2 - 1) \cdot 3)} = 0,22 \text{ м/с}$$

$$H_{\text{пов}} = 4,05 - \frac{1,1 \cdot 0,22^2}{2 \cdot 9,81} = 4,05 \text{ м}$$

Определяем расчетную отметку форсированного уровня:

$$\nabla\text{ФПУ}_{\text{р}} = \nabla\text{ГВ} + H_{\text{пов}} = 706 + 4,05 = 710,4 \text{ м} \quad (4.39)$$

Так как расчетной отметки  $\nabla\text{ФПУ}_{\text{р}} = 710,4 \text{ м}$  не достаточно для пропуска поверочного расхода, принимаем отметку  $\nabla\text{ФПУ} = 712 \text{ м}$ .

#### 4.2.5 Построение оголовка водослива по Кригер - Офицерову

Очертание оголовка строится по координатам Кригера - Офицера, где координаты, представленные в таблице 4.1 перемножаются на  $H_{\text{ст}} = 4 \text{ м}$ .

Таблица 4.1 – Приведённые координаты очертания гребня водослива

| x   | y     | x*    | y*    |
|-----|-------|-------|-------|
| 0   | 0,126 | 0,000 | 1,008 |
| 0,1 | 0,036 | 0,800 | 0,288 |
| 0,2 | 0,007 | 1,600 | 0,056 |
| 0,3 | 0,000 | 2,400 | 0,000 |
| 0,4 | 0,006 | 3,200 | 0,048 |
| 0,5 | 0,027 | 4,000 | 0,216 |
| 0,6 | 0,060 | 4,800 | 0,480 |
| 0,7 | 0,100 | 5,600 | 0,800 |
| 0,8 | 0,146 | 6,400 | 1,168 |

|     |       |        |       |
|-----|-------|--------|-------|
| 0,9 | 0,198 | 7,200  | 1,584 |
| 1   | 0,256 | 8,000  | 2,048 |
| 1,1 | 0,321 | 8,800  | 2,568 |
| 1,2 | 0,394 | 9,600  | 3,152 |
| 1,3 | 0,475 | 10,400 | 3,800 |
| 1,4 | 0,564 | 11,200 | 4,512 |
| 1,5 | 0,661 | 12,000 | 5,288 |

Оголовок водосливной плотины представлен на рисунке 4.1. и на рисунке Г.1 в приложении Г

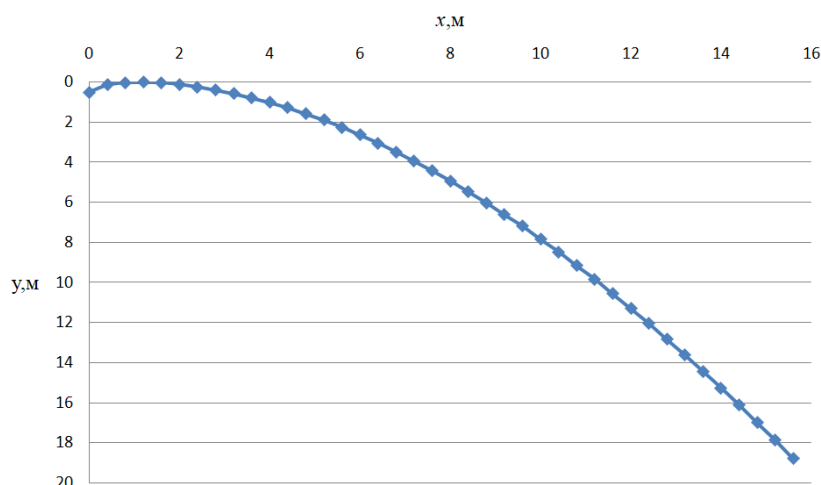


Рисунок 4.1 –Оголовок водосливной плотины

#### 4.2.6 Расчёт сопряжения потока в нижнем бьефе

Определим параметры гидравлического режима.

Критическая глубина потока при полном открытии всех отверстий:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_{осн.расч.}^2}{B^2 \cdot g}}, \quad (4.40)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, равный 1,1.

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 106,6^2}{8^2 \cdot 9,81}} = 2,71 \text{ м}$$

Первая сопряженная глубина, рассчитывается методом последовательных приближений:

$$h'_{c1} = \frac{q_c}{\varphi \cdot \sqrt{2g \cdot (\nabla_{НПУ} - \nabla_{ДНО} - h'_{c1})}} \quad (4.41)$$

$$h'_{c1} = \frac{13,33}{0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (710 - 660 - 0)}} = 0,473.$$

$$q_c = \frac{Q_{осн.расч}}{B} = \frac{106,6}{8} = 13,33 \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.42)$$

Уточним величину первой сопряженной глубины:

$$h'_{c1} = \frac{q_c}{\varphi \cdot \sqrt{2g \cdot (\nabla_{НПУ} - \nabla_{ДНО} - h'_{c1})}} \quad (4.43)$$

$$h'_{c1} = \frac{13,33}{0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (710 - 660 - 0,473)}} = 0,475.$$

Вторая сопряженная глубина:

$$h''_c = \frac{h'_{c1}}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot \left( \frac{h_{кр}}{h'_{c1}} \right)^3} - 1 \right) \quad (4.44)$$

$$h''_c = \frac{0,473}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot \left( \frac{2,71}{0,475} \right)^3} - 1 \right) = 8,92 \text{ м}$$

Определим тип прыжка:

Так как  $h''_c = 8,92 \text{ м} > h_{НБ} = 3,92 \text{ м}$ , то имеем отогнанный прыжок,

где  $h_{НБ}$  – глубина воды в НБ, определяется по кривой  $Q = f(H)$  при  $Q_{max.осн}$

Отогнанный прыжок за плотиной не допускается, поэтому необходимо проектировать сопряжение бьефов по типу затопленного прыжка.

Для этого необходимо создать в нижнем бьефе соответствующую глубину или погасить часть избыточной энергии с помощью гасителей энергии.

Применим гашение избыточной энергии с помощью носка трамплина.

#### 4.2.7 Расчёт носка трамплина и дальности отлета струи

Из рекомендаций отметка носка принимается выше максимальной отметки нижнего бьефа. Максимальная отметка нижнего бьефа при расчётном случае  $\nabla_{\text{НБ}} Q_{0,01\%} = 664,72$  м, тогда  $h_{\text{НБ}} Q_{0,01\%} = 4,72$  м

Высота от дна до носка:

$$a = h_{\text{НБ}} Q_{0,01\%} + 2 = 4,72 + 2 = 6,72 \text{ м} \quad (4.45)$$

Отметка носка:

$$\nabla_{\text{НОС}} = \nabla_{\text{ДНО}} + a = 660 + 6,72 = 666,72 \text{ м} \quad (4.46)$$

Определим напор воды на носке:

$$z_{\text{Н}} = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{НОС}} = 710 - 666,72 = 43,28 \text{ м} \quad (4.47)$$

Далее, используя величину напора на носке, определим скорость потока на нем:

$$v_{\text{Н}} = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z_{\text{Н}}} = 0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 43,28} = 26,23 \text{ м/с} \quad (4.48)$$

$$Z_0 = \nabla_{\text{НПУ}} - \nabla_{\text{ДНО}} - h_{\text{НБ}} = 710 - 660 - 3,92 = 46,08 \text{ м} \quad (4.49)$$

Определим дальность отлета струи:

$$L = K_a \cdot z_{\text{Н}} \cdot \varphi^2 \cdot \sin 2\alpha \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{Z_0}{z_{\text{Н}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\varphi^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \right), \quad (4.50)$$

где  $\alpha$  – угол наклона носка,  $\alpha = 30^\circ$

$K_a = 0,8$  – коэффициент аэрации, принимаемый исходя из числа Фруда:

$$Fr = \frac{v_{\text{Н}}^2}{g \cdot h_{\text{Н}}} = \frac{26,23^2}{9,81 \cdot 0,508} = 137,99, \quad (4.51)$$

где  $h_{\text{Н}}$  – высота потока воды на носке, определяется по формуле:

$$h_{\text{Н}} = \frac{q_{\text{В}}}{v_{\text{Н}}} = \frac{13,33}{26,23} = 0,508 \text{ м} \quad (4.52)$$

$$L = 0,8 \cdot 43,28 \cdot 0,9^2 \cdot \sin(2 \cdot 30) \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{46,08}{43,28} - 1 \right) \cdot \frac{1}{0,9^2 \cdot \sin^2 30}} \right)$$

$$= 52,2 \text{ м.}$$

Безопасное расстояние отлета струи, для плотины на основании из прочной скалы, определяется из соотношения  $L > 0,4 \cdot z_0$

$$L > 0,4 \cdot z_0$$

$$52,2 \text{ м} > 18,43 \text{ м}$$

Определим глубину размыва:

$$h_{\text{раз}} = t - h_{\text{нб}}, \quad (4.53)$$

где  $t$  – время, определяется по формуле:

$$t = (0,1 + 0,45 \cdot \sqrt[4]{Fr}) \cdot \sqrt{Fr} \cdot \sqrt[4]{\frac{h_{\text{нб}}}{d}} \cdot h_{\text{н}}, \quad (4.54)$$

$$t = (0,1 + 0,45 \cdot \sqrt[4]{137,99}) \cdot \sqrt{137,99} \cdot \sqrt[4]{\frac{3,92}{1}} \cdot 0,508 = 13,79 \text{ м,}$$

где  $d$  – средняя крупность грунта, принимаем  $d = 1 \text{ м}$ .

Тогда:

$$h_{\text{раз}} = 13,79 - 3,92 = 9,87 \text{ м.}$$

Определим расстояние от плотины центра размыва ямы:

$$L_1 = L + \frac{t}{\text{tg}\alpha_1}, \quad (4.55)$$

где:  $\text{tg}\alpha_1$  – тангенс угла, определяется по формуле:

$$\text{tg}\alpha_1 = \sqrt{\text{tg}^2\alpha + \frac{2 \cdot g \cdot (0,5 \cdot h_{\text{н}} \cdot \cos\alpha + a - h_{\text{нб}})}{v_{\text{н}}^2 \cdot \cos^2\alpha}}, \quad (4.56)$$

$$\text{tg}\alpha_1 = \sqrt{\text{tg}^2 30 + \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (0,5 \cdot 0,508 \cdot \cos 30 + 6,72 - 3,92)}{26,23^2 \cdot \cos^2 30}} = 0,67,$$

где:  $a = 6,72$  м – высота от дна до носка.

Тогда:

$$L_1 = 52,2 + \frac{13,79}{0,67} = 72,8 \text{ м.}$$

Длина горизонтального участка ямы размыва вдоль течения на уравнение размывтого русла равна:

$$b_p = 2,5h_{кр} + 3,7h_{раз} = 2,5 \cdot 2,71 + 3,7 \cdot 9,87 = 43,3 \text{ м} \quad (4.57)$$

### 4.3 Конструирование бетонной плотины

#### 4.3.1 Определение ширины подошвы плотины

##### Способ 1

Гравитационные плотины на скальном основании проектируются без фундаментной плиты. Оптимальным профилем является прямоугольный треугольник с вертикальной напорной гранью и вершиной на отметке НПУ.

Ширина подошвы плотины определяется из соотношения:

$$\frac{b}{h_{пл}} = 0,75, \quad (4.58)$$

где  $b$  – ширина подошвы плотины  
 $h$  – высота плотины

Высота плотины  $h$  равна:

$$h_{пл} = \nabla_{НПУ} - \nabla_{ПОД} = 710 - 658 = 52 \text{ м.} \quad (4.59)$$

Ширина подошвы плотины:

$$b = 0,75 \cdot h_{пл} = 0,75 \cdot 52 = 38 \text{ м.} \quad (4.60)$$

##### Способ 2

Задача проектирования состоит в том, чтобы при заданной высоте сооружения найти минимальную ширину сооружения по основанию. Наиболее экономичным является треугольный профиль плотины, имеющий минимальную ширину по низу.

Но при своей экономичности этот профиль должен удовлетворять двум условиям:

- 1) отсутствие растягивающих напряжений в бетоне;
- 2) устойчивость тела плотины против сдвига по основанию.

Бетон слабо сопротивляется растяжению, в нём недопустимо появление трещин с напорной грани, что может привести к появлению опасной фильтрации со всеми вытекающими последствиями.

Таким образом, из условия недопущения растягивающих напряжений, ширина водосливной плотины по основанию определяется, как:

$$B_n^I = \frac{h_{пл}}{\sqrt{\frac{\gamma_6}{\gamma_w} (1 - n) + n(2 - n) - \alpha_1}}, \quad (4.61)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, учитывающий потерю фильтрационного давления за счет устройства противофильтрационных завес, дренажей и шпунтов, принимаемый 0,5;

$$\begin{aligned} \gamma_w &= 10 \text{ кН/м}^3 - \text{удельная плотность воды;} \\ \gamma_6 &= 24 \text{ кН/м}^3 - \text{удельная плотность бетона.} \end{aligned}$$

Из условия устойчивости плотины на сдвиг по основанию ширина подошвы водосливной плотины определится из выражения:

$$B_n^{II} = \frac{\gamma_n h_{пл}}{tg\varphi \left( \frac{\gamma_6}{\gamma_w} + n - \alpha_1 \right)}, \quad (4.62)$$

где  $\gamma_n = 1,25$  – коэффициент надёжности по назначению сооружения, принимаемый в зависимости от класса сооружения;

$tg\varphi = 0,75$  – коэффициент трения бетона по грунту, принимается для гранита

Задаваясь различными значениями  $n$ , представленными в таблице 4.2, несколько раз, по двум формулам определяется  $B_{п}$  и строим графики зависимости  $B_n^I = f(n)$  и  $B_n^{II} = f(n)$ , представленные на рисунке 4.2. Точка пересечения графиков определит расчетную ширину подошвы.

Таблица 4.2 – Определение ширины подошвы плотины.

| $n$ | $B_{п}^I$ , м | $B_{п}^{II}$ , м |
|-----|---------------|------------------|
| 0,1 | 28,11         | 43,33            |
| 0,2 | 29,21         | 41,27            |
| 0,3 | 30,77         | 39,39            |
| 0,4 | 32,91         | 37,68            |
| 0,5 | 35,86         | 36,11            |
| 0,6 | 40,00         | 34,67            |
| 0,7 | 46,02         | 33,33            |
| 0,8 | 55,32         | 32,10            |

|     |        |       |
|-----|--------|-------|
| 0,9 | 71,23  | 30,95 |
| 1   | 104,00 | 29,89 |
| 0,1 | 28,11  | 43,33 |

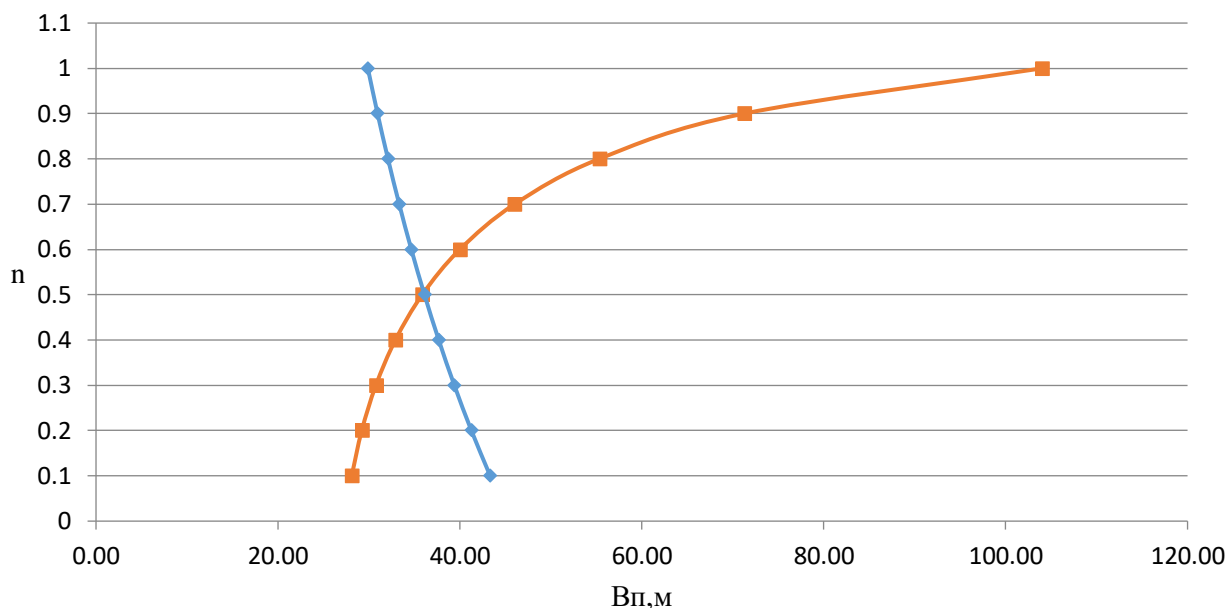


Рисунок 4.2 – Определение ширины подошвы

Графики пересекаются в точке  $n = 0,505$ , следовательно ширина подошвы плотины равна  $V_{п} = 36$  м.

Исходя из предварительных результатов расчёта ширину основания принимаем  $V_{п} = 38$  м.

### 4.3.2 Разрезка бетонных плотин швами

В плотинах на жестких скальных основаниях устройство этих швов обеспечивает свободное развитие температурных и усадочных деформаций и поэтому они называются температурно-усадочными. Эти швы, как правило, располагают на равных расстояниях по длине плотины, зависящих от климатических условий и температурного режима плотины в период эксплуатации. Расположение швов увязывается со строительными условиями и расположением отверстий в плотине, а также с разрезкой на блоки бетонирования.

В данном проекте бетонная водосливная плотина разрезана швами по осям быков, т.е. ширина одной секции между швами равна:

$$V_{бс} = b + \delta_{б} = 4 + 3 = 7 \text{ м}, \quad (4.63)$$

где  $b$  – ширина пролета водосливной плотины;  
 $\delta_{б}$  – толщина быка.



Ширину постоянных деформационных температурно-усадочных швов принимаем равной 5 см в верхней части и 1 см в пределах фундаментной плиты.

### **4.3.3 Быки**

Размеры быков водосбросных плотин следует назначать в зависимости от типа и конструкции затворов, размеров водосбросных отверстий, эксплуатационных и аварийных выходов из продольных галерей, а также размеров и конструкции мостовых пролетных строений.

Головная часть быка обычно имеет обтекаемую в плане форму.

Пазы рабочих затворов располагают обычно на линии гребня водослива, быки при этом чаще всего выдвигают в верхний бьеф. Быки разбивают весь водосливной фронт на отдельные водосливные отверстия.

В быках устраивают пазы для ремонтных, рабочих и аварийных затворов, под защитой которых выполняются ремонтные работы

Затвор представляет собой металлическую конструкцию, покрытую с верхней стороны водонепроницаемой обшивкой, выполненной из листовой стали. Несущая конструкция представляет собой балочную клетку из ригелей и стоек.

Пазы рабочих затворов располагаем на линии гребня водослива, быки при этом выдвинуты в верхний бьеф.

Ширина паза рабочего затвора составляет 1 м.

Глубина и ширина паза ремонтного затвора – 0,5 м.

Расстояние между затворами принимаем 1 м, с целью обеспечения удобных условий для проведения ремонтных работ на рабочем затворе.

### **4.3.4 Галереи и дренаж в теле плотины**

В теле плотины необходимо предусматривать продольные и поперечные галереи. По высоте плотины продольные галереи располагаем через 14 м. Одну из продольных галерей проектируем выше максимального уровня нижнего бьефа для обеспечения самотечного отвода воды из всей вышележащей части плотины. Размеры галерей, устраиваемых для цементации основания и строительных швов плотины, создания и восстановления вертикального дренажа, следует принимать минимальными, но при этом обеспечивающими провоз и работу бурового, цементационного и другого оборудования. Поэтому устраиваем галерею цементационной завесы и дренажную галерею, из размеры из практических рекомендаций принимаем с учетом работающей техники 3х3,5м. Габариты для смотровых галерей принимаем 2х2,5м.

Так же в плотине имеются галереи, предусмотренные для сбора и отвода воды, контроля состояния бетона плотины и уплотнения швов, размещения КИА и различного рода коммуникаций.

Расстояние от напорной грани до оси дренажа:

$$a_{др} \geq \frac{H_d \cdot \gamma_n}{J_{cr.m}}$$

$$a_{др} \geq \frac{50 \cdot 1,25}{25}$$

$$a_{др} \geq 2,5 \text{ м}, \quad (4.64)$$

где  $a_{др}$  – расстояние от напорной грани до оси дренажа;  
 $H_d$  – напор над расчетным сечением;  
 $J_{cr.m}$  – критический градиент напора для бетонной плотины ( $J_{cr.m} = 25$ ).

$$H_d = \nabla_{НПУ} - \nabla_{ДНО} = 710 - 660 = 50 \text{ м}. \quad (4.65)$$

Расстояние от напорной грани до оси дренажа принимаем 3,5 м.

#### 4.3.5 Определение ширины плотины по гребню

Ширина плотины по гребню принята исходя из следующих факторов:

- ширина проезжей части – 4 м;
- ширина пешеходной дорожки – 2 м;
- ширина путей козлового крана – 8 м;
- безопасное расстояние между козловым краном и автодорогой – 1 м;
- расстояние между путями козлового крана и верховой гранью быка – 1 м.

Таким образом, ширина плотины по гребню принимается равной 16 м.

#### 4.3.6 Расчет цементационной завесы и дренажа

На скальном основании как правило устраиваются только вертикальные дренажные устройства: цементационная завеса и дренаж.

Расстояние от напорной грани плотины до оси цементационной завесы:

$$l_3 = (0,10 \div 0,25) \cdot B_{п} = (0,10 \div 0,25) \cdot 38 = 3,74 \div 9,35 \text{ м}, \quad (4.66)$$

где  $B_{п}$  - ширина подошвы плотины,  
 Принимаю  $l_3 = 5 \text{ м}$ .

Глубина цементационной завесы:

$$h_{зав} = 0,6 \cdot H_d = 0,6 \cdot (710 - 660) = 30 \text{ м}, \quad (4.67)$$

где  $H_d$  – напор над расчетным сечением.

Толщина цементационной завесы определяется исходя из допустимого градиента фильтрации через завесу:

$$\delta_3 \geq \frac{\Delta H \cdot \gamma_n}{J_{cr.m}},$$

где  $\Delta H$  – потери напора на цементационной завесе;

$J_{cr.m}$  – критический градиент напора для бетонной плотины ( $J_{cr.m} = 15$ ).

$$\Delta H = h_{пл} - 0,4 \cdot H_d,$$

где  $h_{пл}$  – высота плотины 52 м.

$$\Delta H = 52 - 0,4 \cdot 50 = 32 \text{ м}, \quad (4.68)$$

$$\delta_3 \geq \frac{32 \cdot 1,25}{15}$$

$$\delta_3 \geq 2,67 \text{ м}, \quad \text{принимаю } 3 \text{ м}. \quad (4.69)$$

Глубина дренажных скважин равна:

$$h_{др} = 0,6 \cdot h_{зав} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ м}, \quad (4.70)$$

Для отвода фильтрующейся воды и снижения фильтрационного давления на сооружение в основании сооружения устраивают дренажи.

В скальных грунтах дренаж выполняют в виде вертикальных скважин диаметром 200 мм с шагом 3 м.

Расстояние между дренажными и цементационными скважинами 6 м.

Через дренажные скважины фильтрующуюся воду выводят в цементационную или дренажную галерею, а отвод воды в НБ осуществляют самотеком или насосами.

#### 4.4 Определение основных нагрузок на плотину

Нагрузки определяются при ВНПУ в верхнем бьефе и минимальный уровень в нижнем бьефе.

Нагрузки собирают на одну секцию, а при сплошном поперечном сечении плотины нагрузки собирают на 1 п. м. длины сооружения.

##### 4.4.1 Вес сооружения

Площадь поперечного сечения определена в программе AutoCad:

$S_{\text{пл}} = 1068 \text{ м}^2$ ,  $S_{\text{б}} = 1222 \text{ м}^2$ . Вес одного погонного метра водосливной части плотины определяется по формуле:

$$G_{\text{пл}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot b \cdot \gamma_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{1068 \cdot 4 \cdot 24}{4 + 3} = 14647 \text{ кН/м}, \quad (4.71)$$

где  $b$  – ширина пролета;  
 $\gamma_{\text{б}}$  – удельный вес бетона;  
 $\delta_{\text{б}}$  – толщина быка.

Вес быка и точку его приложения определяется тем же способом:

$$G_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}} \cdot \delta_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{1222 \cdot 3 \cdot 24}{4 + 3} = 12569 \text{ кН/м}. \quad (4.72)$$

Вес плоского затвора:

$$Q_3 \approx 0,055 \cdot f^{1,5} \cdot g = 0,055 \cdot 26^{1,5} \cdot 9,81 = 72 \text{ кН}, \quad (4.73)$$

где  $f$  – площадь затвора:

$$f = (\nabla\text{ФПУ} - \nabla\text{ГВ} + 0,5) \cdot b = (712 - 706 + 0,5) \cdot 4 = 26 \text{ м}^2. \quad (4.74)$$

Вес затвора приводится к 1 погонному метру:

$$q_3 = \frac{Q_3}{b + \delta_{\text{б}}} = \frac{72}{4 + 3} = 10 \text{ кН}. \quad (4.75)$$

#### 4.4.2 Сила гидростатического давления воды

Эпюры гидростатического давления воды принимаем по треугольнику. Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды с верхнего бьефа для основного сочетания нагрузок.

$$T_{\text{ВВ}} = \frac{\gamma_{\text{В}} \cdot H_{\text{В}}^2}{2} = \frac{10 \cdot 52^2}{2} = 13520 \text{ кН}, \quad (4.76)$$

где  $H_{\text{В}}$  – высота плотины для основного расчётного случая:

$$H_{\text{В}} = \nabla\text{НПУ} - \nabla_{\text{под}} = 710 - 658 = 52 \text{ м}. \quad (4.77)$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды с верхнего бьефа для особого сочетания нагрузок.

$$T'_{\text{ВВ}} = \frac{\gamma_{\text{В}} \cdot H'_{\text{В}}{}^2}{2} = \frac{10 \cdot 54^2}{2} = 14580 \text{ кН}, \quad (4.78)$$

где  $H'_{\text{В}}$  – высота плотины для поверочного случая:

$$H'_{\text{В}} = \nabla\text{ФПУ} - \nabla_{\text{под}} = 712 - 658 = 54 \text{ м}. \quad (4.79)$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды с нижнего бьефа для основного сочетания нагрузок:

$$T_{\text{НБ}} = \frac{\gamma_{\text{В}} \cdot H_{\text{Н}}^2}{2} = \frac{10 \cdot 3,5^2}{2} = 61,25 \text{ кН}, \quad (4.80)$$

где  $H_{\text{Н}}$  – определяется по формуле:

$$H_{\text{Н}} = \nabla\text{НБ}_{\text{min}} - \nabla_{\text{под}} = 661,5 - 658 = 3,5 \text{ м}. \quad (4.81)$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления воды с нижнего бьефа для особого сочетания нагрузок:

$$T'_{\text{НБ}} = \frac{\gamma_{\text{В}} \cdot H'_{\text{Н}}{}^2}{2} = \frac{10 \cdot 3,7^2}{2} = 68,45 \text{ кН}, \quad (4.82)$$

где  $H'_{\text{Н}}$  – определяется по формуле:

$$H'_{\text{Н}} = \nabla\text{НБ}_{\text{max}} - \nabla_{\text{под}} = 661,7 - 658 = 3,7 \text{ м}. \quad (4.83)$$

#### 4.4.3 Равнодействующая взвешивающего давления

Сила взвешивающего давления для основного сочетаний нагрузок и воздействий:

$$W_{\text{ВЗВ}}^{\text{осн.}} = H_{\text{Н}} \cdot B_{\text{под}} \cdot \gamma_{\text{В}} = 3,5 \cdot 38 \cdot 10 = 1330 \text{ кН}, \quad (4.84)$$

где  $H_{\text{Н}}$  – определяется по формуле;

$B_{\text{под}}$  – ширина подошвы.

Сила взвешивающего давления для особого сочетаний нагрузок и воздействий:

$$\begin{aligned} W_{\text{ВЗВ}}^{\text{пов.}} &= H'_{\text{Н}} \cdot B_{\text{под}} \cdot \gamma_{\text{В}} = 3,7 \cdot 38 \cdot 10 \\ &= 1406 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (4.85)$$

где  $H'_H$  – определяется по формуле;  
 $B_{\text{под}}$  – ширина подошвы.

#### 4.4.4 Сила фильтрационного давления

Сила фильтрационного давления для основного сочетания нагрузок и воздействий:

$$H_d = \nabla \text{НПУ} - \nabla \text{НБ}_{\min} = 710 - 661,5 = 48,5 \text{ м.} \quad (4.86)$$

На основании СНиПа 2.06.06-85 «Плотины бетонные и железобетонные»:

$$H_{as} = 0,4 \cdot H_d = 0,4 \cdot 48,5 = 19,4 \text{ м,} \quad (4.87)$$

$$H_{dr} = 0,2 \cdot H_d = 0,2 \cdot 48,5 = 9,7 \text{ м,} \quad (4.88)$$

$$W_{\phi}^{\text{очн.}} = S_{\text{эп}} \cdot \gamma_B = 392 \cdot 10 = 3920 \text{ кН.} \quad (4.89)$$

Сила фильтрационного давления для особого сочетания нагрузок и воздействий:

$$H'_d = \nabla \text{ФПУ} - \nabla \text{НБ}_{\min} = 712 - 661,5 = 50,5 \text{ м.} \quad (4.90)$$

$$H'_{as} = 0,4 \cdot H'_d = 0,4 \cdot 50,5 = 20,2 \text{ м.} \quad (4.91)$$

$$H'_{dr} = 0,2 \cdot H'_d = 0,2 \cdot 50,5 = 10,1 \text{ м.} \quad (4.92)$$

$$W_{\phi}^{\text{пов.}} = S_{\text{эп}} \cdot \gamma_B = 403,5 \cdot 10 = 4035 \text{ кН.} \quad (4.93)$$

#### 4.4.5 Давление грунта

Давление наносов на вертикальную грань:

$$p_H = \gamma_H \cdot h_H \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi_H}{2} \right), \quad (4.94)$$

где  $\gamma_H$  – удельный вес наносов во взвешенном состоянии;  
 $h_H$  – толщина слоя наносов ( $h_H = 2 \text{ м}$ );  
 $\varphi_H$  – угол внутреннего трения наносов,  $\varphi_H = 20$ ;

$$p_H = 10 \cdot 2 \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{20}{2} \right) = 9,8 \text{ кН/м}^2. \quad (4.95)$$

Равнодействующая давления наносов на 1 п.м.

$$E_H = \frac{p_H \cdot h_H}{2} = \frac{9,8 \cdot 2}{2} = 9,8 \text{ кН.} \quad (4.96)$$

Активное давление грунта основания со стороны ВБ:

$$p_1 = \gamma_H \cdot h_H \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right), \quad (4.97)$$

$$p_1 = 10 \cdot 2 \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{37}{2} \right) - 2 \cdot 110 \cdot tg \left( 45 - \frac{37}{2} \right) = -105 \text{ кН/м}^2.$$

В точке на нижней границе слоя грунта толщиной  $h_{гр}$ , где действует вес наносов и вес грунта, активное давление:

$$p_2 = (\gamma_H \cdot h_H + \gamma_{гр} \cdot h_{гр}) \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right), \quad (4.98)$$

$$p_2 = (10 \cdot 2 + 18,05 \cdot 2) \cdot tg^2 \left( 45 - \frac{37}{2} \right) - 2 \cdot 110 \cdot \left( 45 - \frac{37}{2} \right) = -96 \text{ кН/м}^2,$$

где  $c$  – сцепление грунта, равное 110 кПа;

$\gamma_{гр}$  вычисляется по формуле:

$$\gamma_{гр} = \gamma_{гр}^{сух} - (1 - n) \cdot \gamma_B = 28 - (1 - 0,005) \cdot 10 = 18,05 \text{ кН/м}^3, \quad (4.99)$$

где  $n$  – пористость сухого грунта, для гранита  $n = 0,005$ ;

Численное значение равнодействующего активного давления грунта на 1 погонный метр:

$$E_a = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{-105 - 96}{2} = -101 \text{ кН} \quad (4.100)$$

Так как полученное значение отрицательно, то активное давление грунта на гидротехническое сооружение отсутствует.

Пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа:

$$p_{гр} = \gamma_{гр} \cdot h_{гр} \cdot tg^2 \left( 45 + \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot tg \left( 45 + \frac{\varphi_{гр}}{2} \right), \quad (4.101)$$

$$p_{гр} = 18,05 \cdot 2 \cdot tg^2 \left( 45 + \frac{37}{2} \right) + 2 \cdot 110 \cdot tg \left( 45 + \frac{37}{2} \right) = 586.$$

$$E_{\text{пас}} = \frac{p_{\text{гр}} \cdot h_{\text{гр}}}{2} = \frac{586 \cdot 2}{2} = 586 \text{ кН.} \quad (4.102)$$

#### 4.4.6 Волновое воздействие при основном сочетании нагрузок

Равнодействующая волнового давления для основного сочетания нагрузок может быть определена упрощенно по формуле А.Л. Можевитинова:

$$W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ОСН.}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{В}} \cdot h_{1\%} \cdot \left( \frac{\bar{\lambda}_{\text{д}}}{\pi} + \frac{h_0}{2} \right), \quad (4.103)$$

где  $h_{1\%}$  – высота волны 1% обеспеченности,  $h_{1\%} = 0,77$  м;  
 $\bar{\lambda}_{\text{д}}$  – средняя длина волны,  $\bar{\lambda}_{\text{д}} = 6,76$  м.

$$W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ОСН.}} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,77 \cdot \left( \frac{6,76}{\pi} + \frac{0,28}{2} \right) = 8,82 \text{ кН/м.}$$

$$h_0 = \frac{\pi \cdot h_{1\%}^2}{\bar{\lambda}_{\text{д}}} = \frac{\pi \cdot 0,77^2}{6,76} = 0,28 \text{ м,} \quad (4.104)$$

Плечо силы  $W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ОСН.}}$  относительно уровня покоя ВБ:

$$y_c = \frac{\bar{\lambda}_{\text{д}}}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{6,76}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot 0,77 = 0,79 \text{ м.} \quad (4.105)$$

#### 4.4.7 Волновое воздействие при особом сочетании нагрузок

Равнодействующая волнового давления для особого сочетания нагрузок определяется так же, как и для основного – по формуле А.Л. Можевитинова:

$$W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ПОВ.}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{В}} \cdot h'_{1\%} \cdot \left( \frac{\bar{\lambda}_{\text{д}}}{\pi} + \frac{h'_0}{2} \right), \quad (4.106)$$

где  $h'_{1\%}$  – высота волны 1% обеспеченности,  $h'_{1\%} = 0,77$  м;  
 $\bar{\lambda}_{\text{д}}$  – средняя длина волны,  $\bar{\lambda}_{\text{д}} = 6,76$  м.

$$W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ПОВ.}} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,77 \cdot \left( \frac{6,76}{\pi} + \frac{0,28}{2} \right) = 8,82 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

$$h'_0 = \frac{\pi \cdot h'_{1\%}{}^2}{\bar{\lambda}_{\text{д}}} = \frac{\pi \cdot 0,77^2}{6,76} = 0,28 \text{ м,} \quad (4.107)$$



Плечо силы  $W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ПОВ}}$  относительно уровня покоя ВБ:

$$y'_c = \frac{\bar{\lambda}_d}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot h_{1\%} = \frac{6,76}{2\pi} - \frac{3}{8} \cdot 0,77 = 0,79 \text{ м.} \quad (4.108)$$

## 4.5 Оценка прочности плотины при основном сочетании нагрузок

### 4.5.1 Определение напряжений

Расчет прочности бетонной плотины следует производить по методу предельных состояний первой группы (по непригодности к эксплуатации). Расчет производится без учёта температурных воздействий. Для оценки прочности плотины вводятся критерии прочности. Таким образом, результате расчета определяются напряжения в плотине, которые затем сравниваются с критериями прочности.

Исходя из практических соображений в расчете плотины сжимающие напряжения принимаются со знаком «-», а растягивающая со знаком «+».

Для удобства расчетов составляется таблица 4.3, в которую внесены все нагрузки, умноженные на коэффициент надежности по нагрузке.

Точки приложения равнодействующих сил рассчитаны с помощью программы AutoCAD.

Таблица 4.3 – Основные нагрузки на плотину

| Нагрузки                        | $\gamma_f$ | Направление силы | Сила, кН | Сила $\gamma_f$ , кН | Плечо, м | Момент, кН·м |
|---------------------------------|------------|------------------|----------|----------------------|----------|--------------|
| $T_{\text{ВБ}}$                 | 1          | →                | 13520    | 13520                | 17,35    | 234572       |
| $T_{\text{НБ}}$                 | 1          | ←                | 61,25    | 61,25                | 1,17     | -71,7        |
| $G_{\text{ПЛ}}$                 | 0,95       | ↓                | 14647    | 13915                | 6,91     | -96150,2     |
| $G_{\text{б}}$                  | 0,95       | ↓                | 12569    | 11941                | 8,19     | -97793,1     |
| $W_{\text{ВЗВ}}^{\text{ОСН.}}$  | 1          | ↑                | 1330     | 1330                 | 0        | 0            |
| $W_{\text{ф}}^{\text{ОСН.}}$    | 1          | ↑                | 3920     | 3920                 | 9,62     | 37710,4      |
| $E_{\text{Н}}$                  | 1,2        | →                | 9,8      | 11,8                 | 2,67     | 31,4         |
| $E_{\text{ПАС}}$                | 0,8        | ←                | 586      | 469                  | 0,67     | -314,1       |
| $W_{\text{ВОЛН}}^{\text{ОСН.}}$ | 1          | →                | 8,8      | 8,82                 | 50,28    | 443,0        |
| $q_3$                           | 0,9        | ↓                | 10       | 9                    | 21,5     | -193,5       |

$$\sum N = G_{\text{ПЛ}} + G_{\text{б}} + q_3 - W_{\text{ВЗВ}}^{\text{ОСН.}} - W_{\text{ф}}^{\text{ОСН.}} \quad (4.109)$$

$$\sum N = 20614 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sum M = 78234 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Далее считаем краевые напряжения для верховой грани.  
Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{\Pi}} + \frac{6 \sum M}{B_{\Pi}^2} = -\frac{20614}{38} + \frac{6 \cdot 78234}{38^2} = -217,4 \text{ кПа}, \quad (4.110)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов, действующих на подошву;  
 $B_{\Pi}$  – ширина подошвы плотины.

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^u = \sigma_y^u \cdot m_u^2 - \gamma_w \cdot H_d^u \cdot (1 - m_u^2), \quad (4.111)$$

$$\sigma_x^u = -217,4 \cdot 0^2 - 10 \cdot 52 \cdot (1 - 0^2) = -520 \text{ кПа},$$

где  $m_u$  – заложение верховой грани на уровне расчетного сечения;  
 $H_d^u$  – напор над расчетным сечением со стороны ВБ, м;  
 $\gamma_w$  – удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>.

Касательные напряжения у верховой грани:

$$\tau_{xy}^u = (\gamma_w \cdot H_d^u + \sigma_y^u) \cdot m_u = (10 \cdot 52 - 217,4) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}. \quad (4.112)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^u = \sigma_y^u \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_w \cdot H_d^u \cdot m_u^2, \quad (4.113)$$

$$\sigma_1^u = -217,4 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 52 \cdot 0^2 = -217,4 \text{ кПа}.$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^u = -10 \cdot 52 = -520 \text{ кПа}. \quad (4.114)$$

Краевые напряжения для низовой грани:

Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^t = -\frac{N}{B_{\Pi}} - \frac{6 \sum M}{B_{\Pi}^2} = -\frac{20614}{38} - \frac{6 \cdot 78234}{38^2} = -867,6 \text{ кПа}, \quad (4.115)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов, действующих на подошву;

$B_{\Pi}$  – ширина подошвы плотины;  
 $N$  – сумма вертикальных сил, действующих на плотину.  
 Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^t = \sigma_y^t \cdot m_t^2 - \gamma_w \cdot H_d^t (1 - m_t^2), \quad (4.116)$$

$$\sigma_x^t = -867,6 \cdot 0,67^2 - 10 \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,67^2) = -408,7 \text{ кПа},$$

где  $m_t$  – заложение низовой грани на уровне расчетного сечения;  
 $H_d^t$  – напор над расчетным сечением со стороны НБ, м;  
 $\gamma_w$  – удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>.

Касательные напряжения у низовой грани:

$$\tau_{xy}^t = -(\gamma_w \cdot H_d^t + \sigma_y^t) \cdot m_t, \quad (4.117)$$

$$\tau_{xy}^t = -(10 \cdot 3,5 + (-867,6)) \cdot 0,67 = 557,8 \text{ кПа}.$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^t = \sigma_y^t (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^t \cdot m_t^2, \quad (4.118)$$

$$\sigma_3^t = -867,7 \cdot (1 + 0,67^2) + 10 \cdot 3,5 \cdot 0,67^2 = -1241 \text{ кПа}.$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^t = -\gamma_w \cdot H_d^t = -10 \cdot 3,5 = -35 \text{ кПа}. \quad (4.119)$$

Таблица 4.4 - Краевые напряжения действующие на плотину

| Напряжение  | Напорная грань | Низовая грань |
|-------------|----------------|---------------|
| $\sigma_y$  | -217,4         | -867,6        |
| $\sigma_x$  | -520           | -408,7        |
| $\tau_{xy}$ | 0              | 557,8         |
| $\sigma_1$  | -217,4         | -35           |
| $\sigma_3$  | -520           | -1241         |

#### 4.5.2 Критерии прочности плотины и её основания при основном сочетании нагрузок

На данном этапе производится проверка расчетов напряжений для основного сочетания нагрузок исходя из следующих условий:

1. Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3| \leq \gamma_c \cdot R_b, \quad (4.120)$$

где  $\gamma_n = 1,25$  – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1$  – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая;

$\gamma_{cd} = 0,9$  – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.

$$R_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3^{max}|}{\gamma_c} = \frac{1,25 \cdot 0,9 \cdot 1241}{1} = 1396,1 \text{ кН/м}^2. \quad (4.121)$$

Условие выполняется, т.к.:

$$1396,1 \text{ кН/м}^2 \leq 2800 \text{ кН/м}^2$$

Исходя из данного условия, предварительно принимается класс бетона В5 с расчетным сопротивлением бетона на сжатие  $R_b = 2800 \text{ кН/м}^2$ , который необходимо уложить в зоне с максимальными сжимающими напряжениями.

2. На верховой грани не должно быть растягивающих напряжений:

$$\sigma_y^u < 0 \quad (4.122)$$

В данной работе  $\sigma_y^u = -217,4 \text{ кПа}$ , следовательно, условие выполняется.

3. В зоне верховой грани плотины:

$$|\sigma_y^u| \geq 0,25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u, \quad (4.123)$$

$$|-217,4| \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 52$$

$$\text{т.е. } 217,4 \text{ кН/м}^2 \geq 130 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

### 4.5.3 Обоснование устойчивости плотины при основном сочетании нагрузок

Устойчивость бетонных плотин на скальных основаниях определяется несущей способностью основания, то есть его сопротивлением сдвигу

сооружения. Плотина рассчитывается на сдвиг по первому предельному состоянию – по потере несущей способности.

При поступательной форме сдвига плотина будет устойчива, если выполняется условие:

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.124)$$

где  $\gamma_n = 1,25$  – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1$  – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчётного случая;

$\gamma_{cd} = 0,95$  – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.

$$\begin{aligned} R &= (G_6 + G_{пл} - W_{взв} - W_{ф} + q_3) \cdot tg\varphi + E_{пас} \cdot \gamma_c' + c \cdot B_n = \\ &= (11941 + 13915 - 1330 - 3920 + 9) \cdot 0,75 + 469 \cdot 0,7 + 110 \cdot 38 = \\ &= 19969, \end{aligned} \quad (4.125)$$

где  $tg\varphi$  – тангенс угла внутреннего трения для гранита 0,75;

$c$  – сцепление для грунта, 110 кН/м<sup>2</sup>;

$B_n$  – ширина подошвы плотины 38 м.

Сдвигающая сила:

$$F = T_{вб} - T_{нб} + W_{волн} + E_n, \quad (4.126)$$

$$F = 13520 - 61,25 + 8,8 + 11,8 = 13479 \text{ кН/м}^2.$$

$$\frac{19969 \cdot 0,95}{13479 \cdot 1} \geq 1,25,$$

1,4 > 1,25, поэтому условие выполняется.

## 4.6 Оценка прочности плотины при особом сочетании нагрузок

### 4.6.1 Определение напряжений при особом сочетании нагрузок

Расчет прочности бетонной плотины следует производить по методу предельных состояний первой группы (по непригодности к эксплуатации). Расчет производится без учёта температурных воздействий. Для оценки прочности плотины вводятся критерии прочности. Таким образом, результате

расчета определяются напряжения в плотине, которые затем сравниваются с критериями прочности.

Исходя из практических соображений в расчете плотины сжимающие напряжения принимаются со знаком «-», а растягивающая со знаком «+».

Для удобства расчетов составляется таблица 4.5, в которую внесены все нагрузки, умноженные на коэффициент надежности по нагрузке.

Точки приложения равнодействующих сил рассчитаны с помощью программы AutoCAD.

Таблица 4.5 – Основные нагрузки на плотину

| Нагрузки           | $\gamma_f$ | Направление силы | Сила, кН | Сила $\gamma_f$ , кН | Плечо, м | Момент, кН·м |
|--------------------|------------|------------------|----------|----------------------|----------|--------------|
| $T'_{ВБ}$          | 1          | →                | 14580    | 14580                | 17,2     | 262440       |
| $T'_{НБ}$          | 1          | ←                | 68,45    | 68,45                | 1,23     | -84,2        |
| $G_{пл}$           | 0,95       | ↓                | 14647    | 13915                | 6,91     | -96150,2     |
| $G_б$              | 0,95       | ↓                | 12569    | 11941                | 8,19     | -97793,1     |
| $W_{ВЗВ}^{пов.}$   | 1          | ↑                | 1406     | 1406                 | 0        | 0,0          |
| $W_{ф}^{пов.}$     | 1          | ↑                | 4035     | 4035                 | 9,66     | 38978,1      |
| $E_H$              | 1,2        | →                | 9,8      | 11,8                 | 2,67     | 31,4         |
| $E_{пас}$          | 0,8        | ←                | 586      | 469                  | 0,67     | -314,1       |
| $W_{волн.}^{пов.}$ | 1          | →                | 8,82     | 8,82                 | 50,28    | 443,5        |
| $q_з$              | 0,9        | ↓                | 10       | 9                    | 21,5     | -193,5       |

$$\sum N = G_{пл} + G_б + q_з - W_{ВЗВ}^{пов.} - W_{ф}^{пов.} \quad (4.127)$$

$$\sum N = 20423 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sum M = 95694 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Краевые напряжения для верховой грани:

Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^u = -\frac{N}{B_{п}} + \frac{6 \sum M}{B_{п}^2} = -\frac{20423}{38} + \frac{6 \cdot 95694}{38^2} = -139,8 \text{ кПа}, \quad (4.128)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов, действующих на подошву;  
 $B_{п}$  – ширина подошвы плотины.

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^{u'} = \sigma_y^{u'} \cdot m_u^2 - \gamma_w \cdot H_d^{u'} \cdot (1 - m_u^2) \quad (4.129)$$

$$\sigma_x^{u'} = -139,8 \cdot 0^2 - 10 \cdot 54 \cdot (1 - 0^2) = -540 \text{ кПа},$$

где  $m_u$  – заложение верховой грани на уровне расчетного сечения;  
 $H_d^{u'}$  – напор над расчетным сечением со стороны ВБ при ФПУ, м;  
 $\gamma_w$  – удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>.

Касательные напряжения у верховой грани:

$$\tau_{xy}^{u'} = (\gamma_w \cdot H_d^{u'} + \sigma_y^{u'}) \cdot m_u = (10 \cdot 54 - 139,8) \cdot 0 = 0 \text{ кПа}. \quad (4.130)$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^{u'} = \sigma_y^{u'} \cdot (1 + m_u^2) + \gamma_w \cdot H_d^{u'} \cdot m_u^2, \quad (4.131)$$

$$\sigma_1^{u'} = -139,8 \cdot (1 + 0^2) + 10 \cdot 54 \cdot 0^2 = -139,8 \text{ кПа}.$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^u = -\gamma_w \cdot H_d^{u'} = -10 \cdot 54 = -540 \text{ кПа}. \quad (4.132)$$

Далее считаем краевые напряжения для низовой грани.

Нормальное напряжение по горизонтальным площадкам:

$$\sigma_y^{t'} = -\frac{N}{B_{\Pi}} - \frac{6 \sum M}{B_{\Pi}^2} = -\frac{20423}{38} - \frac{6 \cdot 95694}{38^2} = -935,1 \text{ кПа}, \quad (4.133)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов, действующих на подошву;  
 $B_{\Pi}$  – ширина подошвы плотины;  
 $N$  – сумма вертикальных сил, действующих на плотину.

Нормальное напряжение по вертикальным площадкам:

$$\sigma_x^{t'} = \sigma_y^{t'} \cdot m_t^2 - \gamma_w \cdot H_d^{t'} (1 - m_t^2), \quad (4.134)$$

$$\sigma_x^{t'} = -935,1 \cdot 0,67^2 - 10 \cdot 3,7 \cdot (1 - 0,67^2) = -440,1 \text{ кПа},$$

где  $m_t$  – заложение низовой грани на уровне расчетного сечения;  
 $H_d^{t'}$  – напор над расчетным сечением со стороны НБ, м;  
 $\gamma_w$  – удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>.

Касательные напряжения у низовой грани:

$$\tau_{xy}^{t'} = -(\gamma_w \cdot H_d^{t'} + \sigma_y^{t'}) \cdot m_t, \quad (4.135)$$

$$\tau_{xy}^{t'} = -(10 \cdot 3,7 + (-935,1)) \cdot 0,67 = 601,7 \text{ кПа.}$$

Максимальные сжимающие главные напряжения:

$$\sigma_3^{t'} = \sigma_y^{t'} (1 + m_t^2) + \gamma_w \cdot H_d^{t'} \cdot m_t^2, \quad (4.136)$$

$$\sigma_3^{t'} = -935,1 \cdot (1 + 0,67^2) + 10 \cdot 3,7 \cdot 0,67^2 = -1338 \text{ кПа.}$$

Максимальные растягивающие главные напряжения:

$$\sigma_1^{t'} = -\gamma_w \cdot H_d^{t'} = -10 \cdot 3,7 = -37 \text{ кПа.} \quad (4.137)$$

Таблица 4.6 - Краевые напряжения действующие на плотину

| Напряжение   | Напорная грань | Низовая грань |
|--------------|----------------|---------------|
| $\sigma_y'$  | -139,8         | -935,1        |
| $\sigma_x'$  | -540           | -440,1        |
| $\tau_{xy}'$ | 0              | 601,7         |
| $\sigma_1'$  | -139,8         | -37           |
| $\sigma_3'$  | -540           | -1338         |

#### 4.6.2 Критерии прочности плотины и её основания при особом сочетании нагрузок

На данном этапе производится проверка расчетов напряжений для основного сочетания нагрузок исходя из следующих условий.

1. Во всех точках плотины:

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3| \leq \gamma_c \cdot R_b, \quad (4.138)$$

где  $\gamma_n = 1,25$  – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1$  – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая;

$\gamma_{cd} = 0,9$  – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.



$$R_b \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot |\sigma_3^{max}|}{\gamma_c} = \frac{1,25 \cdot 0,9 \cdot 1338}{1} = 1505,5 \text{ кН/м}^2. \quad (4.139)$$

Условие выполняется, т.к.:

$$1505,5 \text{ кН/м}^2 \leq 2800 \text{ кН/м}^2$$

Исходя из данного условия, предварительно принимается класс бетона В5 с расчетным сопротивлением бетона на сжатие  $R_b = 2800 \text{ кН/м}^2$ , который необходимо уложить в зоне с максимальными сжимающими напряжениями.

2. На верховой грани не должно быть растягивающих напряжений:

$$\sigma_y^u < 0 \quad (4.140)$$

В данной работе  $\sigma_y^u = -139,8 \text{ кПа}$ , следовательно, условие выполняется.

3. В зоне верховой грани плотины:

$$|\sigma_y^u| \geq 0,25 \cdot \gamma_w \cdot H_d^u \quad (4.141)$$

$$|-139,8| \geq 0,25 \cdot 10 \cdot 54$$

$$\text{т.е. } 139,8 \text{ кН/м}^2 \geq 135 \text{ кН/м}^2.$$

Условие выполняется.

### 4.6.3 Обоснование устойчивости плотины

Устойчивость бетонных плотин на скальных основаниях определяется несущей способностью основания, то есть его сопротивлением сдвигу сооружения. Плотина рассчитывается на сдвиг по первому предельному состоянию – по потере несущей способности.

При поступательной форме сдвига плотина будет устойчива, если выполняется условие:

$$\frac{R \cdot \gamma_{cd}}{F \cdot \gamma_{lc}} \geq \gamma_n, \quad (4.142)$$

где  $\gamma_n = 1,25$  – коэффициент надежности по назначению в зависимости от класса сооружения;

$\gamma_{lc} = 1$  – коэффициент сочетания нагрузок, для основного расчетного случая;

$\gamma_{cd} = 0,95$  – коэффициент условий работы, для основного расчетного случая.

$$R = (G_6 + G_{пл} - W_{взв}^{пов.} - W_{ф}^{пов.} + q_3) \cdot tg\varphi + E_{пас} \cdot \gamma'_c + c \cdot B_n, \quad (4.143)$$

где  $tg\varphi$  – тангенс угла внутреннего трения для гранита 0,75;  
 $c$  – сцепление для грунта, 110 кН/м<sup>2</sup>;  
 $B_n$  – ширина подошвы плотины 38м.

$$R = (11941 + 13915 - 1406 - 4035 + 9) \cdot 0,75 + 110 \cdot 38 = 19826$$

Сдвигающая сила:

$$F = T'_{вб} - T'_{нб} + W_{волн}^{пов.} + E_n \quad (4.144)$$

$$F = 14580 - 68,45 + 8,8 + 11,8 = 14532 \text{ кН/м}^2.$$

$$\frac{19826 \cdot 0,95}{14532 \cdot 1} \geq 1,25$$

1,3 > 1,25, поэтому условие выполняется.

## **5 Этапы возведения сооружений и схема пропуска строительных расходов на различных этапах**

Выделяют три основных периода, относящихся непосредственно к осуществлению гидротехнического строительства: подготовительный, основной и заключительный.

Первый период — подготовительный. Главная задача подготовительного периода — подготовка строительства к ведению работ по основным сооружениям.

Второй период — основной. Главной задачей этого периода является возведение основных сооружений в объеме, необходимом для пуска объекта на полную мощность.

Третий период — заключительный. Главная задача этого периода — подготовка и сдача объекта в постоянную промышленную эксплуатацию. В этот период заканчиваются все работы по объекту, не включенные во второй период к моменту пуска объекта во временную эксплуатацию.

Общую задачу каждого периода разбиваем на ряд более частных задач и выделяем внутри каждого периода соответствующие этапы. В основном периоде для речных гидротехнических сооружений выделяем минимум пять этапов, связанных с очередностью возведения сооружений с учетом пропуска строительных расходов и наполнения водохранилища.

I этап – возведение сооружений, необходимых для перекрытия или стеснения русла;

II этап – перекрытие или стеснение русла;

III этап – наращивание сооружений до отметок, необходимых для начала наполнения водохранилища;

IV этап – наполнение водохранилища до отметок пуска первых агрегатов;

V этап – наращивание сооружений и наполнение водохранилища до проектных отметок с последовательным поочередным пуском всех агрегатов.

### **5.1 I этап строительства – возведение сооружений, необходимых для стеснения русла**

Строительство сооружений напорного фронта ГЭС с русловой компоновкой выполняем со стеснением русла.

Строительные работы начинаем с возведения перемычек.

Пропуск строительных расходов на этом этапе будет производиться по стесненному руслу реки со стороны правого берега.

Перекрываем 55% ширины русла и строим в котловане I очереди часть глухой плотины.

Для того, чтобы обеспечить строительство сооружений, необходимых для перекрытия русла реки, требуется возвести перемычки, образующие

левобережный котлован первой очереди.

Основные строительные работы I этапа (котлован I очереди):

- 1) Возведение верховой и низовой перемычек I очереди
- 2) Откачка воды и водопонижение в котловане первой очереди;
- 3) Выемка скальных грунтов с врезкой в скалу левого берега с применением БВР;
- 4) Возведение верховой и низовой перемычек II очереди
- 5) Бетонирование тела водосбросной плотины, подводящего канала, глухой левобережной бетонной плотины, отдельного устоя между водоливной и стационарной частями, левобережной подпорной стенки;
- 6) Монтаж затворов для донных отверстий и необходимого на этом этапе гидромеханического оборудования водосливной плотины.

### 5.1.1 Гидравлический расчет перемычек первой очереди с учетом пропуска строительных расходов через стесненное русло

Требуется определить расход строительного периода. При проектировании временных гидротехнических сооружений расчетные максимальные расходы воды следует принимать исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса и срока эксплуатации сооружений (для перемычек IV класса при сроке эксплуатации до 10 лет – 10%)  $Q_{10\%} = 116,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $УВ_{Q_{10\%}} = 663,48 \text{ м}$

Скорость потока в сжатом русле  $V_{сж}$ :

$$V_{сж} = \frac{Q_{10\%}}{\omega_{сж}} = \frac{116,3}{238,15} = 0,49 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (5.1)$$

где  $\omega_{сж}$  – площадь сечения сжатого русла, определяется по формуле:

$$\omega_{сж} = B_{сж} \cdot h_{сж} = 43,3 \cdot 5,5 = 238,15 \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

Ширина сжатого сечения:

$$B_{сж} = 0,45 \cdot B_0 = 0,45 \cdot 96,2 = 43,3 \text{ м}, \quad (5.3)$$

где  $B_0$  – ширина русла реки,  $B_0 = 96,2 \text{ м}$ .

$$h_{сж} = УВ_{Q_{10\%}} - \nabla_{\text{ДНА}} = 665,5 - 660 = 5,5 \text{ м}$$

Допустимая средняя скорость для грунтов русла реки (гранитогнейсы) составляет 20 м/с, скорость в сжатом сечении не превышает допустимую, следовательно, размыва русла не происходит.

При сжатии русла перед верховой перемычкой образуется подпор, а между ВП и НП образуется перепад  $Z$ .

$$Z = \frac{V_{сж}}{2\varphi^2 g} - \frac{V_0}{2g} = \frac{0,49}{2 \cdot 0,8^2 \cdot 9,81} - \frac{0,22}{2 \cdot 9,81} = 0,011 \text{ м}, \quad (5.4)$$

где  $\varphi = 0,8$  коэффициент скорости  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения

Скорость реки  $V_0$ :

$$V_0 = \frac{Q_{10\%}}{\omega_0} = \frac{116,3}{529,1} = 0,22 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (5.5)$$

Площадь сечения русла  $\omega_0$ :

$$\omega_0 = B_0 \cdot h_0 = 96,2 \cdot 5,5 = 529,1 \text{ м}^2, \quad (5.6)$$

где  $h_0 = УВ_{Q_{10\%}} - \nabla_{\text{ДНА}} = 665,5 - 660 = 5,5 \text{ м}. \quad (5.7)$

Отметка гребня верховой перемычки при  $Q_{10\%}$ :

$$\nabla_{\text{ГВП}}(Q_{10\%}) = УВ_{Q_{10\%}} + Z + d = 665,5 + 0,011 + 1,173 = 666,7 \text{ м}, \quad (5.8)$$

где  $h_n$  – высота наката ветровой волны на откос ( $h_n = 0,003 \text{ м}$ );  
 $\Delta h$  – высота ветрового нагона  $0,77 \text{ м}$ ;  
 $\alpha$  – запас  $0,4 \text{ м}$ ;  
 $d$  – запас высоты гребня, рассчитывается по формуле:

$$d = h_n + \Delta h + \alpha = 0,003 + 0,77 + 0,4 = 1,173 \text{ м}. \quad (5.9)$$

Гребень низовой перемычки 1-ой очереди:

$$\nabla_{\text{ГНП}_{1\text{оч}}}(Q_{10\%}) = УВ_{Q_{10\%}} + \alpha = 665,5 + 0,4 = 665,9 \text{ м}. \quad (5.10)$$

### 5.1.2 Пропуск строительных расходов 2 очереди методом донных отверстий.

Определяем минимально допустимое количество донных отверстий из условия неразмываемости русла реки.

$$n_{\min} = \frac{Q_{10\%}}{V_{\text{доп}} \cdot h_p \cdot l} = \frac{116,3}{20 \cdot 8 \cdot 3,48} = 0,21 = 1 \text{ отверстие}, \quad (5.11)$$

где  $V_{\text{доп}}$  – допустимая средняя скорость для грунтов русла реки и составляет 20 м/с:

$h_p$  – глубина воды на пороге быстротока;

$l = 8$  м – ширина отверстия, принимаем ширину донного отверстия в строительный период равной ширине водосбросных отверстий эксплуатационного периода.

Определяем расчётную отметку порога донных отверстий:

$$\text{УВБ} = \text{УНБ}_{Q_{\text{перекрытия}}} + Z_{\text{max}} \quad (5.12)$$

Назначаем время перекрытия русла – осенняя межень

Уровень верхнего бьефа при перекрытии русла:

$$\text{УВБ}(Q_{\text{пер}}) = 661,65 + 1 = 662,65 \text{ м}, \quad (5.13)$$

где  $Q_{\text{пер}}$  – расход при перекрытии русла;

$$Q_{\text{пер}} = 32 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Считаем напор:

$$H_{\text{п}} = \left( \frac{Q_{\text{пер}}}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{32}{0,3 \cdot 8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{2/3} = 2,1 \text{ м}, \quad (5.14)$$

где  $n$  – количество донных отверстий

$l$  – ширина донного отверстия, м

$m = 0,3 - 0,35$  – коэффициент расхода для водослива с широким порогом.

$b$  – ширина донных отверстий и определяется по формуле:

$$b = n \cdot l \quad (5.15)$$

Отметка пола донного отверстия:

$$\nabla\text{ПДО} = \text{УВБ}(Q_{\text{пер}}) - H_{\text{п}} = 662,65 - 2,1 = 660,55 \text{ м} \quad (5.16)$$

Определяем количество отверстий строительного периода для пропуска максимального строительного расхода  $Q_{\text{стр}}$ :

$$\nabla\text{ВДО} = \nabla\text{ПДО} + h_{\text{отв}}, \quad (5.17)$$

где  $\nabla\text{ВДО}$  – отметка верха ДО;

$h_{\text{отв}}$  – высота донного отверстия;

$$h_{\text{отв}} = 3 \text{ м.}$$

$$\nabla\text{ВДО} = 660,55 + 3 = 663,55 \text{ м.}$$

Т.к.  $\nabla\text{ВДО} = 663,55 < \nabla\text{ВБ}(Q_{\text{стр}}) = 665,5$  – отверстие затопленное

Определяем величину перепада между уровнями ВБ и НБ:

$$Z_{\text{до}} = \frac{Q_{\text{стр}}^2}{\mu^2 \cdot \omega_{\text{во}}^2 \cdot 2g}, \quad (5.18)$$

где  $C = 78,0$  – коэффициент Шези;

$n_{\text{max}} = 2$  – количество отверстий строительного периода

$\omega_0$  – суммарная площадь донных отверстий, рассчитывается по формуле:

$$\omega_0 = b \cdot h_{\text{отв}} \cdot n_{\text{max}} = 8 \cdot 3 \cdot 2 = 48 \text{ м}^2. \quad (5.19)$$

Гидравлический радиус для затопленного отверстия:

$$R = \frac{w}{x} = \frac{b \cdot h}{2b + 2h} = \frac{8 \cdot 3}{2 \cdot 8 + 2 \cdot 3} = \frac{24}{22} = 1,09 \text{ м} \quad (5.20)$$

Коэффициент, учитывающий перепад уровней:

$$\mu = \frac{1}{1 + \xi_{\text{вх}} + \frac{2gL}{C^2R}} = \frac{1}{1 + 0,4 + 0,082} = 0,68, \quad (5.21)$$

где  $L = 28 \text{ м}$  – высота отверстий;

$\xi_{\text{вх}} = 0,4 \text{ м}$  – потери напора на входе.

Величина перепада между ВБ и НБ:

$$Z_{\text{до}} = \frac{116,3^2}{0,68^2 \cdot 48^2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,65 \text{ м.}$$

Уровень ВБ при пропуске строительного расхода:

$$\nabla\text{ВБ}(Q_{\text{стр}}) = \nabla\text{НБ}(Q_{\text{стр}}) + Z_{\text{во}} = 663,5 + 0,65 = 664,15 \text{ м.} \quad (5.22)$$

### 5.1.3 Определяем отметка гребня перемычек 2 очереди.

Отметка гребня верховой перемычки 2 очереди:

$$\text{ГВП}_{2\text{оч}} = \text{УВБ} (Q_{\text{стр}}) + d, \quad (5.23)$$

где  $d$  – запас высоты гребня (принимается аналогично значению для перемычки 1-ой очереди);

$$\text{ГВП}_{2\text{оч}} = 664,15 + 1,2 = 665,35 \text{ м.}$$

Отметка гребня низовой перемычки 2 очереди:

$$\text{ГНП}_{2\text{оч}} = \text{УНБ} (Q_{\text{стр}}) + a, \quad (5.24)$$

где  $a$  – запас, учитывающий конструкцию плотины;  
 $a = 0,4 \text{ м.}$

$$\text{ГНП}_{2\text{оч}} = 663,5 + 0,5 = 664 \text{ м.}$$

#### 5.1.4 Конструкция перемычек

Принимаем тип и профиль перемычек – каменно-земляная трапециевидальная с наклонным ядром из суглинка.

Ширину по гребню принимаем 8 м для удобства производства работ.

Назначаем откосы в зависимости от угла естественного откоса отсыпаемых грунтов и метода возведения сооружения: верховой откос 1:2, низовой откос 1:1,5.

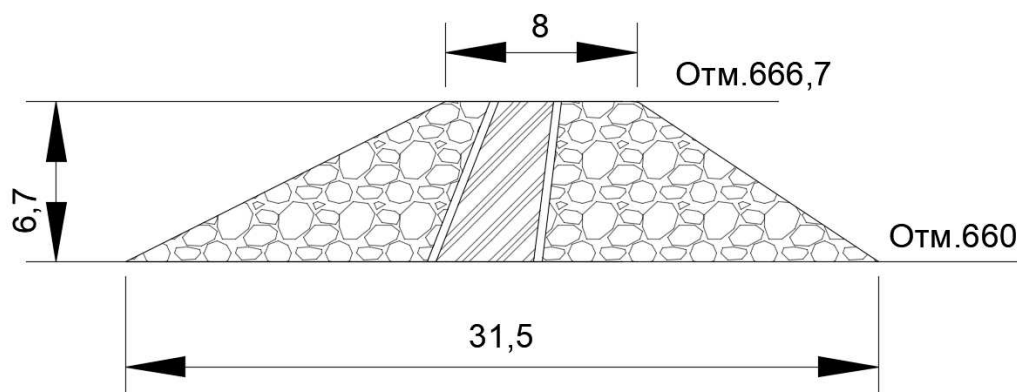


Рисунок 5.1 – Конструкция перемычки

#### 5.1.5 Технология возведения перемычек

Для того, чтобы отсыпать наклонное суглинистое ядро без размыва отсыпаем скальный банкет пионерным способом, для создания стоячего прудка воды. Далее в стоячую воду слоями отсыпаем перемычку.

Объём верховой перемычки первой очереди:

$$V_{\text{ВП}} = \omega_{\text{ВП}} \cdot L_{\text{ВП}} = 184 \cdot 18,2 = 9023,6 \text{ м}^3, \quad (5.25)$$



где  $\omega_{en}$  – площадь поперечного сечения перемычки;

$L_{вп}$  – длина перемычки.

Определяем площади поперечного сечения перемычек с помощью программы AutoCAD:

$$\omega_{вп} = 184 \text{ м}^2, \omega_{нп} = 132,3 \text{ м}^2.$$

Объём низовой перемычки:

$$V_{нп} = \omega_{нп} \cdot L_{нп} = 132,3 \cdot 24 = 3175,2 \text{ м}^3. \quad (5.26)$$

$$V_{пер} = V_{вп} + V_{нп} = 3348,8 + 3175,2 = 6524 \text{ м}^3. \quad (5.27)$$

Время отсыпки перемычек определяем по ГЭСН 81-02-36-2017 “Земляные конструкции ГТС”

По таблице ГЭСН 36-01-004-01  $t = 16,83$  м. час на  $1000 \text{ м}^3$  при отсыпке в воду в искусственных прудках

$$T = \left( \frac{6524}{1000} \right) \cdot 16,83 = 110 \text{ часов} = 5 \text{ суток}. \quad (5.28)$$

## 5.2 Водоотлив

### 5.2.1 Откачка воды

Откачку осуществляем насосами, которые будут установлены на берегу. Планируем не менее двух насосов: основной и резервный, количество насосов влияет на время откачки. Объём воды, которую будем откачивать равен 2-3 объемам котлована. Соблюдаем интенсивность откачки, то есть градиент напоров не должен превышать допустимый для скального грунта, из которого сложены откосы котлована, в противном случае произойдет суффозия – и размыв бортов.

Для того, чтобы отсыпать наклонное суглинистое ядро без размыва отсыпаем скальный банкет пионерным способом, для создания стоячего прудка воды. Далее в стоячую воду слоями отсыпаем перемычку.

С помощью программного комплекса AutoCAD определяем площадь котлована первой очереди 2164

Объём котлована 1-ой очереди:

$$V = S \cdot h = 2164 \cdot 5,5 = 23804 \text{ м}^3 \quad (5.29)$$

Для откачки воды принимаем 2 центробежных насоса производительностью 20 куб/час .

Время откачки вычислим по формуле:

$$t_{отк,ч} = \frac{V}{p} = \frac{23804}{2 \cdot 20} = 595,1 \text{ час.} \quad (5.30)$$

$$t_{отк,дн} = \frac{595,1}{24} = 25 \text{ сут.} \quad (5.31)$$

По условию допустимая интенсивность откачки на начальном этапе для скальных оснований должна быть меньше 0,5-0,8 м/сутки

Определяем интенсивность откачки  $G$ :

$$G = \frac{h}{t_{отк,дн}} = \frac{5,5}{16} = 0,344 \text{ — условие выполняется.} \quad (5.32)$$

Для откачки воды был подобран насос поверхностный насос Pedrollo HFm 51B (600 Вт), который обладает следующими параметрами:

- макс. производительность 20 м<sup>3</sup>/ч,
- макс. напор 18,2 м
- глубина всасывания 7 м
- горизонтальная установка.

### 5.2.2 Водопонижение

Для поддержания котлована в сухом состоянии, необходимо по периметру устроить водосбросные канавки сечением 2х2 и зумпфы-приямки — ещё более глубокие, чем канавки. Откачка воды производится из приямков за пределы котлована по трубам. Насосы располагают во временных передвижных насосных станциях.

Для водоотлива применены насосы Парма НБЦ-050А

Способ открытого водоотлива наиболее простой.

Во время водоотлива необходимо организовывать постоянное наблюдение за состоянием откосов котлована и перемычек, особенно в период паводков. Так же необходимо своевременно выявлять признаки суффозии: мутная вода, сосредоточенные выходы воды, ручейки.

При обнаружении признаков суффозии необходимо с напорной стороны отсыпать кольматирующий материал, с низовой стороны создавать обратный фильтр по типу предотвращения выклинивания кривой депрессии на откос плотины.

## 5.3 Производство земельно-скальных работ

### 5.3.1 Определяем объём земляных работы

Объём земляных работ определяется по формуле:

$$V = V_{\text{вр}} + V_{\text{д}} + V_{\text{вг}} + V_{\text{дер}} + V_{\text{гэс}}, \quad (5.33)$$

где  $V_{\text{вр}}$  – объём врезки, м<sup>3</sup>;

$$V_{\text{вр}} = S_{\text{вр}} \cdot b, \quad (5.34)$$

где  $S_{\text{вр}} = 1620,7 \text{ м}^2$  – площадь врезки (посчитано в AutoCAD);

$b = 28 \text{ м}$  – ширина врезки;

$$V_{\text{вр}} = 1620,7 \cdot 28 = 45380 \text{ м}^3.$$

Объём земляных работ для прокладывания дорог  $V_{\text{д}}$  (40% от объёма врезки):

$$V_{\text{д}} = 0,4 \cdot V_{\text{вр}} = 0,4 \cdot 45380 = 18152 \text{ м}^3. \quad (5.35)$$

Объём земляных работ под водогасительные устройства  $V_{\text{вг}}$  (в данном случае под яму размыва):

$$V_{\text{вг}} = S_{\text{вг}} \cdot h = 606,2 \cdot 10 = 6062 \text{ м}^3, \quad (5.36)$$

где  $h$  – глубина ямы размыва;

$h = 10 \text{ м}$ .

Объём земляных работ деривационного канала  $V_{\text{дер}}$ :

$$V_{\text{дер}} = \omega_{\text{дер}} \cdot l = 418265 \text{ м}^3, \quad (5.37)$$

где  $\omega_{\text{дер}}$  – площадь живого сечения деривационного канала, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина деривационного канала, м;

Объём земляных работ под здание ГЭС  $V_{\text{гэс}}$ :

$$V_{\text{гэс}} = 5254 \text{ м}^3.$$

Полный объём земляных работ:

$$V = 45380 + 18152 + 6062 + 418265 + 5254 = 493113 \text{ м}^3.$$

### 5.3.2 Буровзрывные работы

Разработку скальных грунтов выполняем методом скважинных зарядов.

Бурение скважин в скальных грунтах выполняется с помощью станков роторно-шарошечного бурения.

Для бурения скважин подбираем буровой станок исходя из трудности бурения породы:

Средние граниты – класс пород труднобуримые – Пб14;

Принимаем станок СБШ-250-55

Основные характеристики станка СБШ-250-55:

– техническая скорость бурения  $V_{\text{б}} = 5,9$  м/ч;

– диаметр скважины – 250 мм;

– максимальная глубина бурения – 55 м.

### 5.3.3 Производительность бурового станка

$$\Pi_{\text{б.см}} = \frac{T_{\text{см}}}{T_0 + T_{\text{в}}} \cdot K_{\text{и.б}}, \quad (5.38)$$

где  $T_{\text{см}}$  – продолжительность смены;

$T_{\text{см}} = 8$  часов

$T_0, T_{\text{в}}$  – продолжительность выполнения соответственно основных и вспомогательных операций, приходящихся на 1 м скважины, час;

$K_{\text{и.б}}$  – коэффициент использования сменного времени (0,8-1).

Продолжительность выполнения основных работ:

$$T_0 = \frac{1}{V_{\text{б}}}, \quad (5.39)$$

где  $V_{\text{б}}$  – техническая скорость бурения, м/ч.

$$T_0 = \frac{1}{5,9} = 0,17 \text{ ч.}$$

Продолжительность выполнения вспомогательных работ:

$$T_{\text{в}} = 0,2 \cdot T_0, \quad (5.40)$$

$$T_{\text{в}} = 0,2 \cdot 0,17 = 0,034 \text{ час.}$$

$$\Pi_{\text{б.см}} = \frac{8}{0,17 + 0,034} \cdot 0,8 = 31,4 \text{ м/смену.}$$

Станок СБШ-250-55 оборудован встроенным автономным компрессором.

Электроснабжение станков осуществляется переменным током 380В от передвижных трансформаторных подстанций.

Буровой инструмент необходимо ремонтировать, погнутые штанги выправляют, изношенные коронки затачивают. Замену старого инструмента производят в ремонтных бурозаправочных мастерских.

### 5.3.4 Взрывные работы

Назначаем сетку бурения скважин 4х4 метра с вертикальными скважинами:

$$L_{\text{СКВ}} = H_{\text{уст}} + h_n, \quad (5.41)$$

где  $H_{\text{уст}}$  – высота рабочего уступа, м;  
 $h_n$  – глубина перебура ( $10 \dots 12d_{\text{СКВ}}$ ):

$$h_n = 10 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ м.}$$

$$L_{\text{СКВ}} = 4 + 2,5 = 6,5 \text{ м}$$

Определяем объём грунта, приходящийся на одну скважину:

$$V_{\text{СКВ}} = 104 \text{ м}^3$$

Определяем количество скважин:

$$N_{\text{СКВ}} = \frac{V}{V_{\text{СКВ}}} = \frac{74848}{104} = 720 \text{ шт.} \quad (5.42)$$

$$V_{\text{пм бур}} = N_{\text{СКВ}} \cdot L_{\text{СКВ}} = 720 \cdot 6,5 = 4680 \text{ м}^3. \quad (5.43)$$

Определяем время на выполнение БВР:

$$\frac{V_{\text{пм бур}}}{\text{Пб.см}} = \frac{4680}{31,4} = 149 \text{ смен,} \quad (5.44)$$

Интенсивность БВР:

$$J_{\text{бвр}} = \frac{149}{74848} = 0,002 \frac{\text{смен}}{\text{м}^3}. \quad (5.45)$$

### 5.3.5 Земляные работы

Техническая производительность экскаватора:

$$P_T = \frac{3600 \cdot q \cdot K_H}{t_y \cdot K_p}, \quad (5.46)$$

где  $K_H$  – коэф. наполнения ковша;

$$K_H = 1,3;$$

$q$  – вместимость ковша;

$$q = 1 \text{ м}^3;$$

$t_y$  – минимальная продолжительность рабочего цикла при заданных условиях работы, с;

$$t_y = 25 \text{ с};$$

$K_p$  – коэф. разрыхления грунта;

$$K_p = 1,36.$$

$$P_T = \frac{3600 \cdot 1 \cdot 1,3}{25 \cdot 1,36} = 137,65.$$

$$P_3 = P_T \cdot T_p \cdot K_B = 137,65 \cdot 1 \cdot 0,78 = 107,37 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.47)$$

где  $P_T$  – техническая производительность экскаватора;

$T_p$  – длительность периода работы;

$K_B$  – коэф. использования машины по времени за соответствующий период.

Определение необходимого количества автосамосвалов:

$$(m - 1) \cdot T_{\Pi} = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v} + T_p + T_3, \quad (5.48)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – длина пути груженой машины и обратно соответственно, км;

$$L_1 = L_2 = 2,7 \text{ км};$$

$v_1$  и  $v_2$  – скорость пути груженой машина и обратно, км/час;

$$v_1 = 20 \text{ км/час};$$

$$v_2 = 60 \text{ км/час};$$

$T_3$  – время задержки в пути, час;

$T_p$  – время разгрузки самосвала, час;

$(m - 1) \cdot T_{\Pi}$  – время погрузки грунта экскаватором в автотранспорт:

$$T_{\Pi} = \frac{W}{P_3}, \quad (5.49)$$

где  $W$  – ёмкость кузова самосвала (4-5 ковшей экскаватора);

$P_3$  – эксплуатационная производительность экскаватора  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$$T_p = 40 \text{ сек} = 0,011 \text{ ч}$$

$$T_3 = 15 \text{ мин} = 0,25 \text{ ч}$$

$$(m - 1) \cdot T_{\Pi} = \frac{2,7}{20} + \frac{2,7}{60} + 0,011 + 0,25 = 0,441.$$

$$T_{\Pi} = \frac{4}{107,37} = 0,037.$$

$$(m - 1) = \frac{0,441}{0,037}$$

$m = 11$  самосвалов.

Производительность экскаватора в месяц:

$$P_{\text{Эмес}} \cdot 8 \text{ час} \cdot 21 \text{ день} = 107,37 \cdot 8 \cdot 21 = 18038,2 \text{ м}^3/\text{мес}. \quad (5.50)$$

Полный объём выемки:

$$T_{\text{экс}} = \frac{493113}{18038,2} = 28 \text{ мес.} - \text{только работа экскаватора.} \quad (5.51)$$

Интенсивность земляных работ:

$$J_{\text{зр}} = \frac{T_{\text{экс}}}{V_{\text{выем}}} = \frac{28}{419113} = 0,000057 \text{ мес/м}^3. \quad (5.52)$$

Подбираем экскаватор Volvo EC200DL.

Характеристики экскаватора:

- экскаватор на гусеничном ходу
- прямая лопата
- разработка грунтов 1-6 групп
- эксплуатационная масса 19 800 - 20 300 кг
- полная мощность 123 кВт при оборотах двигателя 2 000 об/мин
- объём ковша 1,02 м<sup>3</sup>
- макс. вылет стрелы 9 840 мм
- макс. глубина выемки 6 680 мм
- радиус поворота задней части платформы 2 860 мм

Далее, исходя из характеристик экскаватора, производим подбор самосвала. Ориентируемся на объём кузова – он составляет 4-5 ёмкостей ковша.

Подбираем самосвал КамАЗ 5511

Объём кузова – 6,6 м<sup>3</sup>. Данный самосвал в состоянии поднять на борт груз, массой 13 тонн. Полная масса автомобиля равна 15,6т. КамАЗ способен разогнаться до 80 километров в час

## 5.4 Производство бетонных работ

Цикл производства бетонных работ состоит из вспомогательных и основных.

К вспомогательным относятся опалубочные и арматурные работы.

К основным – приготовление бетонной смеси, горизонтальный и вертикальный транспорт бетонной смеси, уплотнение, подготовка блоков к бетонированию, уход за бетоном, контроль качества бетонных работ.

### 5.4.1 Определение объёмов бетонных работ

Объём профиля бетонной плотины:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{пл}} \cdot B = 11493,3 \cdot 28 = 321809,6 \text{ м}^3, \quad (5.53)$$

где  $S_{\text{пл}}$  – площадь профиля плотины, посчитана через AutoCAD;

$$S_{\text{пл}} = 11493,2 \text{ м}^2;$$

$B = 28$  – ширина плотины по фронту.

Объём бетона под водоприёмник:

$$V_{\text{В}} = 212,6 \cdot 10 = 2126 \text{ м}^3$$

Объём бетона под деривационный канал посчитана через AutoCAD:

$$V_{\text{дк}} = 86214 \text{ м}^3$$

Объём бетона под здание ГЭС:

$$V_{\text{ГЭС}} = 652,2 \cdot 0,7 \cdot 20 = 9128 \text{ м}^3. \quad (5.54)$$

Общее количество бетонных работ:

$$V = 9128 + 2126 + 321809,6 + 86214 = 419277,6 \text{ м}^3. \quad (5.55)$$

### 5.4.2 Приготовление и укладка бетонной смеси



Приготовление бетонной смеси осуществляется на бетонном заводе, принимаем бетонный завод «Эконом 15», который находится в 3 км от производимых работ.

Комплектация:

- Бетоносмеситель 1 БП-750 со скипом;
- Эстакада под бетоносмеситель 1 БП-750 с лестницей Н-2 м;
- Дозирующий комплекс ДКБ-5 мини;
- Дозатор воды ДВП-25;
- Дозатор химических добавок ДХП-15;
- Дозатор цемента ВМХ ДЦ-250;
- Шнек для цемента ВМХ, ф 219х9000.

Технические параметры:

- Производительность, 15 м<sup>3</sup>/час;
- Объем по загрузке бетона, 750 л;
- Объем готового замеса бетона, 500 л;
- Объем готового замеса раствора, 600 л;
- Крупность заполнителя не более, 70 мм;
- Пульт управления в ручном режиме.

Для укладки бетонной смеси был выбран кабель-кран, так как в данной местности он наиболее эффективен за счёт своей манёвренности относительно гусеничных кранов.

Характеристики кабель-крана:

- грузоподъёмность – 25-50 т;
- пролёты – от 300 до 1000 м;
- высота башен – от 25 до 70 м;
- высота подъёма груза: от 150 м.

Скорости транспортировки груза:

- подъёма груза – 1,5-2,5 м/с;
- передвижения башен – 0,08 м/с — 0,4 м/с;
- передвижения тележки – 3,3 — 10,0 м/с.

Требуемая грузоподъёмность транспортировщика:

$$V_{\text{тр}} = V_6 \cdot G_B = 6,4 \cdot 2,5 + 1 = 17, \quad (5.56)$$

где  $V = 6,4 \text{ м}^3$  – объём бадьи;  
 $G_B = 2,5 \text{ т/м}^3$  – объёмный вес бетон.

Исходя из характеристик бетона был подобран тип миксера. Миксер 6 м<sup>3</sup> на шасси КамАЗ 43118 (6х6).

### 5.4.3 Уплотнение бетонной смеси

Уплотнение бетонной смеси является одним из основных технологических процессов при бетонировании конструкций, в значительной мере определяющим качество уложенного бетона.

Для возведения массивных бетонных сооружений применяются жесткие и малопластичные бетонные смеси, то основным методом уплотнения при возведении таких конструкций принимаем виброуплотнение.

Виброуплотнение заключается в передаче бетонной смеси механических колебаний от источника этих колебаний - вибратора. Процесс виброуплотнения сводится к разрушению первоначальной структуры укладываемой смеси (трехфазной) и в переводе ее в разжиженное состояние (пластично-вязкое течение), при которой смесь подчиняется действию силы тяжести, растекается, занимая всю возможную форму, уплотняется и приобретает более устойчивую, плотную (приближающуюся к двухфазной) структуру. При этом зерна заполнителя перемещаются в результате чего достигается заполнение межзернового пространства цементным тестом с одновременным вытеснением воздуха, отделением части воды на поверхность уплотняемой смеси. Таким образом, вибрирование позволяет уменьшить содержание воздуха и расход воды для приготовления бетонной смеси, а, следовательно, повысить плотность и прочность бетона.

### 5.4.4 Уход за бетоном

При производстве бетонных работ обязательен комплекс мер по уходу за уложенным бетоном, обеспечивающий (СП «Конструкции бетонные гидротехнических сооружений. правила производства и приемки работ»):

а) создание и поддержание температурно-влажностного режима, необходимого для приобретения бетоном требуемых проектом прочности и долговечности в установленные сроки, а также предотвращающего значительные температурно-усадочные деформации и образование опасных трещин;

б) предохранение бетона в начальный период его твердения от ударов, сотрясений и повреждений в ходе строительно-монтажных работ.

Для массивных гидротехнических сооружений необходимые мероприятия по уходу за бетоном по регулированию температурного режима массивных сооружений.

Влажностный уход за свежеложенным бетоном в летнее время заключается в поддержании открытых поверхностей в постоянно влажном состоянии путем распыления над ними воды, создания на них тонкой водяной пленки, заливки их водой или укрытия песком (или иным влагоемким материалом), систематически увлажняемым в процессе твердения бетона.

Уход за свежеложенным бетоном гидротехнических конструкций следует начинать сразу же по достижении бетоном прочности 0,5 МПа и продолжать не менее 14 суток либо до перекрытия блока блоком. Влажностный

уход за кавитационнустойчивым, износостойким бетоном и бетоном, к которому предъявляются требования высокой морозостойкости (МФ 200 и выше) продолжается не менее 28 суток.

При бетонировании в жаркую и сухую погоду открытая поверхность свежеложенной бетонной смеси сразу же после ее укладки и уплотнения в незащищенных шатром массивных блоках и конструкциях типа плит должна укрываться паронепроницаемой (полиэтиленовой) светлой пленкой 0,16—0,20 мм и находится под нею в течение 6 ÷ 8 ч, после чего может быть начат систематический влажностный уход за бетоном посредством полива водой и др.

В жаркую и сухую погоду на период ухода за бетоном должна также постоянно находиться во влажном состоянии неснятая деревянная опалубка.

В осеннее и весеннее время года, когда среднесуточная температура наружного воздуха составляет около 5° С и возможны заморозки, влажностный уход за бетоном следует заменять укрытием паро- или гидроизоляционными материалами (полиэтиленовая пленка, ПВХ, толь и т. п.); при необходимости поверх них устраивается теплоизоляционный слой.

С целью предохранения свежеложенного бетона от повреждений необходимо соблюдать следующие условия:

а) работы на поверхности уложенного блока по уходу и по удалению цементной пленки до набора бетоном прочности при сжатии 1,5 МПа выполняются с применением дощатых настилов;

б) механизированное удаление цементной пленки следует начинать только после набора бетоном прочности при сжатии не менее 1,5 МПа;

в) установку и перестановку опалубки производится после достижения бетоном прочности при сжатии 2,5 МПа;

г) перемещение по поверхности свежеложенного бетона транспортных средств (бетоновозов и т. п.) и механического оборудования допускается только после набора бетоном прочности при сжатии не менее 2,5 МПа;

д) при производстве вблизи забетонированных конструкций взрывных работ паспорт буровзрывных работ должен быть согласован с генеральным проектировщиком.

Закрепление конструкции опалубки в свежеложенный бетон с применением тяжей и анкеров производится при прочности бетона при сжатии не менее 2,5 МПа.

В случае обнаружения дефектов бетона (раковин, каверн, трещин) причины их появления (неправильно подобранный состав бетонной смеси, нарушения правил ее приготовления, недостаточное уплотнение бетонной смеси, неправильный уход за бетоном и т. д.) выясняются и устраняются.

Поверхностные раковины в уложенных блоках обязательно расчищаются до здорового бетона. Расчищенные раковины на лицевых поверхностях блока заполняются бетонной смесью той же марки (класса), что и в конструкции, но с крупностью заполнителя до 20 мм.

## 5.5 Арматурные работы

Необходимое количество арматуры принимаем по коэффициенту армирования  $\mu = 10 - 15 \text{ кг/м}^3$ , далее вычисляем количество арматуры на объем бетона I этапа:

Необходимое количество арматуры:

$$V \cdot \mu = 419277,6 \cdot 10 = 4192776 \text{ кг} = 4192,8 \text{ т}, \quad (5.57)$$

где  $\mu$  – коэффициент армирования;  
 $V$  – объём бетона.

Арматура горячекатаная периодического профиля с постоянной и переменной высотой выступов диаметром 6-50 мм

## 5.6 Показатели производительности отдельных типов работ

Показатели производительности отдельных типов работ представлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Показатели производительности типов работ

| Тип производимых работ | Номенклатура расценок | Значение | Ед. измерения                                   |
|------------------------|-----------------------|----------|---|
| Укладка бетонной смеси | ГЭСН 37-01-002-04     | 10,26    | 1 маш./час на $100 \text{ м}^3$                 |
| Вибрирование           | ГЭСН 37-01-002-04     | 28,68    | 1 маш./час на $100 \text{ м}^3$                 |
| Опалубочные работы     | ГЭСН 37-01-015-07     | 13,21    | $100 \text{ м}^2$<br>опалубливаемой поверхности |
| Арматурные работы      | ГЭСН 37-01-027-05     | 75,21    | 100 т арматуры                                  |

### 5.6.1 Укладка бетонной смеси

Укладка бетонной смеси производится бетоноукладочными кранами и составляет 25-50 т в железобетонные блоки высотой до 5 м.

Состав работ:

- подготовка блока к бетонированию;
- перегрузка бетонной смеси из автомобиля-самосвала в бадью;
- подача и укладка бетонной смеси;
- уход за бетоном;
- монтаж и демонтаж приемных устройств.

Время, требуемое на укладку бетона:

$$T_6 = V_B \cdot \frac{10,26}{100} = 419277,6 \cdot \frac{10,26}{100} = 43017,9 \text{ маш. час,} \quad (5.58)$$

где  $V_B$  – объём бетона.

Время, требуемое для вибрирования бетона:

$$T_B = \frac{V_B \cdot 28,68}{100} = \frac{419277,6 \cdot 28,68}{100} = 120248,8 \text{ маш. час.} \quad (5.59)$$

### 5.6.2 Арматурные работы

Установка армокаркасов и армоферм массой до 5 т производится бетоноукладочными кранами грузоподъёмностью 25-50 т.

Состав работ:

- установка арматурных конструкций с электроприхваткой;
- сварка стыков.

Время, требуемое для монтажа армокаркасов:

$$T_a = \frac{V_a \cdot 75,21}{100} = \frac{4192,8 \cdot 75,21}{100} = 3153,4 \text{ маш. час,} \quad (5.60)$$

где  $V_a$  – объём арматуры.

### 5.6.3 Технология монтажа опалубки

Установка и разборка плоской с горизонтальными и наклонными тяжами опалубки осуществляется бетоноукладочным кабель-краном 25-50 т опалубки деревянной крупнопанельной щитовой.

Состав работ:

- установка опалубки с подачей ее кранами и крепление;
- разборка опалубки с обрезкой тяжей и анкеров.

Площадь опалубливаемой поверхности:

$$S = V_B \cdot K_{оп}, \quad (5.61)$$

где  $V_B$  – объём бетона;

$K_{оп}$  – коэф. опалубливаемой поверхности (0,4-0,6 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>).

$$S = 0,5 \cdot 419277,6 = 209638,8 \text{ м}^2.$$

Время выполнения опалубочных работ:

$$T_0 = S \cdot 13,21 = 209638,8 \cdot 13,21/100 = 27693,3 \text{ маш./час.} \quad (5.62)$$

#### 5.6.4 Интенсивность бетонных работ

Определяем суммарное время выполнения работ

$$T = T_0 + T_6 + T_B + T_a, \quad (5.63)$$

$$T = 27693,3 + 43017,9 + 120248,8 + 3153,4 = 194113,4 \text{ маш./час.}$$

Интенсивность бетонных работ:

$$\frac{T}{V} = \frac{194113,4}{419277,6} = 0,46 \text{ маш. час/м}^3.$$

#### 5.7 II этап – перекрытие русла

Пропуск строительного расхода производится через донные отверстия в теле плотины в котловане 1-ой очереди.

Состав работ

- 1) Сужение русла перемычками (низовыми и верховыми);
- 2) Перекрытие прорана.

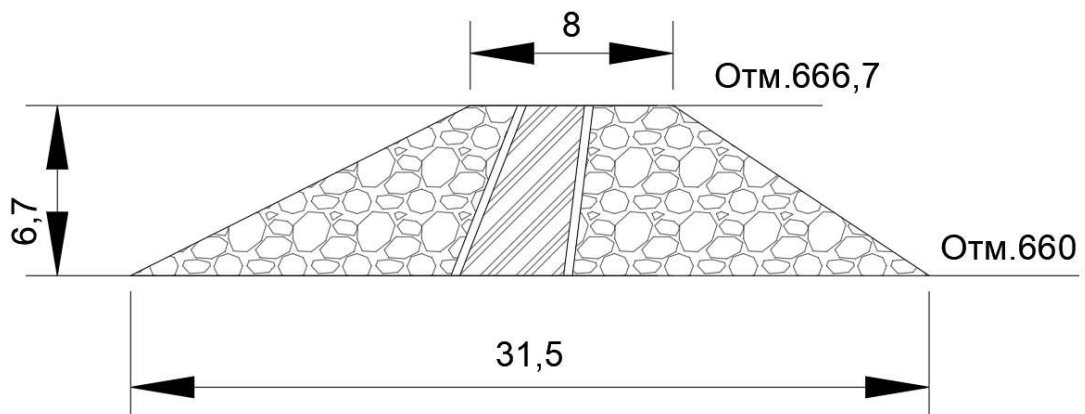


Рисунок 5.2 – верховая перемычка I очереди

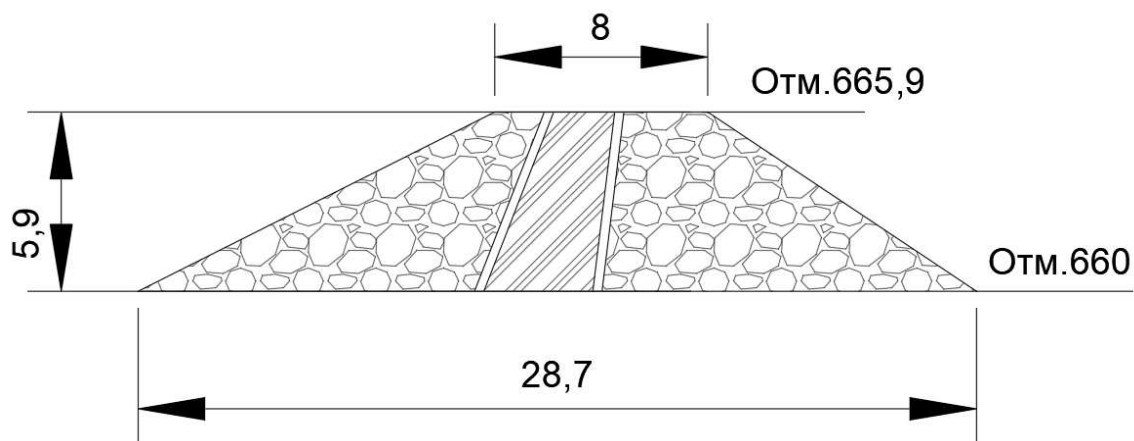


Рисунок 5.3 – низовая перемычка I очереди

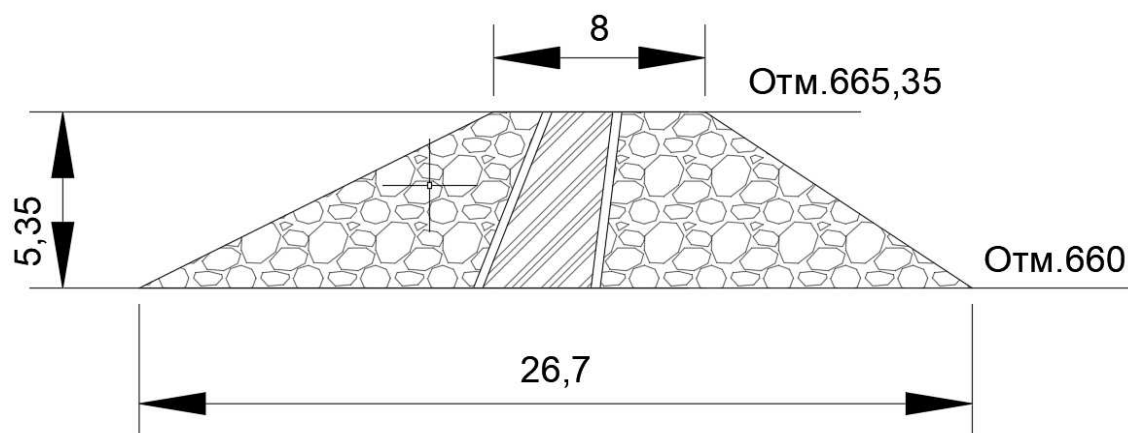


Рисунок 5.4 – верховая перемычка II очереди

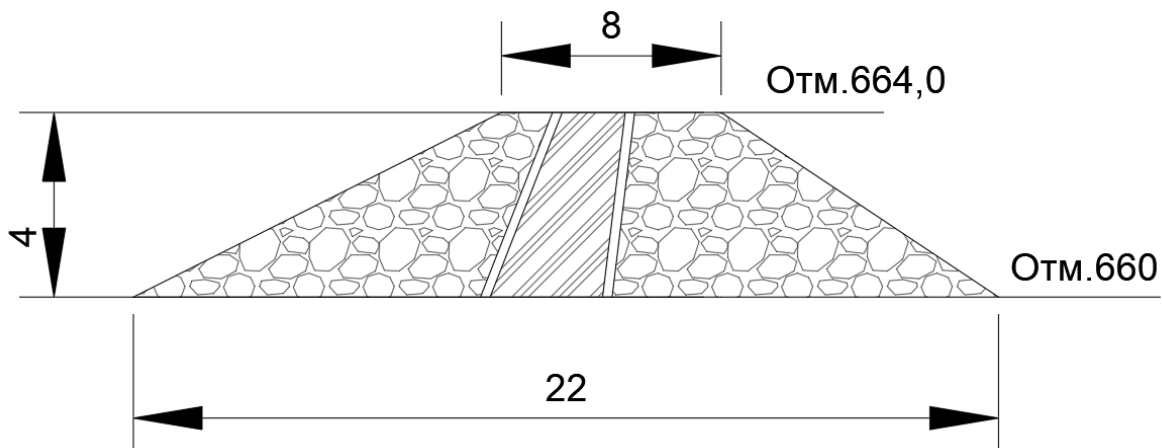


Рисунок 5.5 – низовая перемычка II очереди

### 5.8 III этап – Нарращивание сооружений до отметок начала наполнения водохранилища

Основные строительные работы III этапа:

- 1) Возведение верховой и низовой перемычек II очереди (котлован II очереди);

- 2) Откачка воды и водопонижение в котловане II очереди;
- 2) Выемка скальных грунтов с врезкой в скалу правого берега с применением БВР;
- 3) Бетонирование тела плотины, подводящего канала;
- 4) Нарращивание всех основных сооружений по всему напорному фронту;
- 5) Устраивают глубокую цементационную завесу;
- 6) Бурят дренажные скважины в основании плотины.

Конструкции перемычек II очереди, технологию возведения, механизмы и транспорт принимаем аналогичными, как для перемычек I очереди. Все работы: водоотлив, БВР, выемка грунтов, бетонные работы по котловану II очереди выполняются аналогично, как в котловане I очереди с применением тех же технологий, механизмов и транспорта.

#### **5.9 IV этап – Нарращивание сооружений до отметок необходимых для пуска 1-ого ГА**

Состав работ:

- 1) Нарращивание сооружений по всему фронту;
- 2) Пропуск расходов чз донные отверстия;
- 3) Пуск 1-ого гидроагрегата.

#### **5.10 V этап – Нарращивание сооружений до проектных отметок, наполнение водохранилища для пуска всех ГА**

Состав работ:

- 1) Нарращивание сооружений по всему фронту до проектных отметок
- 2) Пуск всех ГА

Значения различных интенсивностей представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Значение интенсивностей

| Наименование интенсивности | Значение | Ед.измерения  |
|----------------------------|----------|---------------|
| БВР, $J_{бвр}$             | 0,002    | смен/ $m^3$   |
| ЗР, $J_{зр}$               | 0,000066 | мес/ $m^3$    |
| БР, $J_{бр}$               | 0,46     | маш. ч/ $m^3$ |

Объемы земляных и бетонных работ на каждом этапе приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3 – Объемы земляных работ

| № | Земляные работы | Объем, $m^3$ | Месяцы | Примечания |
|---|-----------------|--------------|--------|------------|
|---|-----------------|--------------|--------|------------|



| этапа                                |                                      |         |                     |  |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------------------|--|
| <b>Выемка грунта</b>                 |                                      |         |                     |  |
| I                                    | Котлован Иочереди (скального грунта) | 44182   | БВР=1,4<br>ЗР=3     | БВР в 3 смены:<br>4,2/3=1,4                                |
| III                                  | Котлован Почереди (скального грунта) | 25412,8 | БВР=0,8<br>ЗР=1,7   | БВР в 3 смены:<br>2,4/3=0,8                                |
| III                                  | Здание ГЭС                           | 5254    | БВР=0,5<br>ЗР=0,35  |  |
| III                                  | Деривационный канал                  | 418265  | БВР=13,3<br>ЗР=27,6 | В 3 смены 1<br>механизмом БВР в 3<br>смены:<br>39,8/3=13,3 |
| <b>Насыпные работы</b>               |                                      |         |                     |  |
| <b>Перемычки котлована I очереди</b> |                                      |         |                     |  |
| I                                    | Низовая перемычка                    | 3175,2  | ЗР=0,21             |  |

**Окончания таблицы 5.3**

|                                       |                    |        |         |  |
|---------------------------------------|--------------------|--------|---------|--|
|                                       | Верховая перемычка | 9023,6 | ЗР=0,59 |  |
| <b>Перемычки котлована II очереди</b> |                    |        |         |  |
| II                                    | Низовая перемычка  | 2936,3 | ЗР=0,19 |  |
|                                       | Верховая перемычка | 8751,2 | ЗР=0,58 |  |
| III                                   | Перекрытие русла   |        |         |  |

**Таблица 5.4 – Объемы бетонных работ.**

| № этапа | Бетонные работы              | Объем, м3 | Месяцы | Примечания                |
|---------|------------------------------|-----------|--------|---------------------------|
| I       | Бетонная водосливная плотина | 66168,9   | 60,4   | 3 смены 1 кран            |
| III     | Деривационный туннель        | 86214     | 78,7   | 3 смены и 1<br>механизмом |
| III     | Водоприемник                 | 2126      | 1,9    | 3 смены                   |
| III     | Здание ГЭС                   | 13040     | 12     | 3 смены                   |

## 6 Объёмы производства электроэнергии и расходы в период эксплуатации

### 6.1 Оценка объемов реализации электроэнергии

Рынок электроэнергии и мощности – один из самых технологически сложных рынков, так как электроэнергия является уникальным товаром, основной особенностью которого является невозможность его накопления и хранения, именно поэтому функционирование любой энергосистемы возможно лишь при условии постоянно поддерживающегося баланса спроса и предложения.

Объёмы продаж электроэнергии Дебедской ГЭС видны в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Оценка объемов продаж электроэнергии Алтайской ГЭС

| Год  | 2023    | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Установленная мощность, МВт                          | 142     | 142     | 142     | 142     | 142     |
| Число часов использования установленной мощности     | 4000    | 4000    | 4000    | 4000    | 4000    |
| Выработка электроэнергии, МВт · ч                    | 1192000 | 1192000 | 1192000 | 1192000 | 1192000 |
| Расход электроэнергии на собственные нужды, %        | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Расходы электроэнергии на собственные нужды, МВт · ч | 11920   | 11920   | 11920   | 11920   | 11920   |
| Объем реализации электроэнергии, МВт · ч             | 1180080 | 1180080 | 1180080 | 1180080 | 1180080 |
| Тариф на электроэнергию, руб./МВт · ч                | 1077    | 1110    | 1143    | 1175    | 1206    |
| Выручка от реализации электроэнергии, млн. руб.      | 1271    | 1310    | 1349    | 1387    | 1423    |
| НДС к выручке, млн. руб.                             | 212     | 218     | 225     | 231     | 237     |

Согласно таблице 6.1, рост выручки за исследуемый период произошёл за счет изменения тарифа на электроэнергию в соответствии с Едиными

сценарными условиями ПАО «РусГидро», при этом объемы реализации не изменились.

Эксплуатационные расходы (оплата труда, производственные затраты, прочие расходы) по ГЭС определяются в расчете на 1 МВт установленной мощности.

## 6.2 Текущие расходы на производство электроэнергии

Текущие расходы формируются на основании «Единых сценарных условий ПАО «РусГидро» на 2017 – 2042 гг. (приказ ПАО «РусГидро» от 16.01.2017 г. №9) [38] с учетом реализованной электроэнергии.

Текущие расходы по гидроузлу включают в себя:

- амортизационные отчисления;
- расходы по страхованию имущества;
- эксплуатационные расходы;
- расходы на ремонт производственных фондов;
- расходы на услуги регулирующих организаций;
- налог на воду.

Амортизационные отчисления рассчитаны исходя из среднего срока службы основного оборудования.

Расходы по страхованию имущества приняты в размере (от остаточной балансовой стоимости основных фондов) – 0,08%.

Эксплуатационные расходы (оплата труда, производственные затраты и прочие расходы) по ГЭС определяются в расчете на 1 МВт установленной мощности. Эксплуатационные расходы представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Эксплуатационные расходы гидроузла

| Наименование            | Ставка, тыс. руб./МВт | Величина, млн. руб. |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Расходы на оплату труда | 777,3                 | 15,1                |
| Прочие расходы          | 496,3                 | 16,21               |
| Итого                   |                       | 31,31               |

Из таблицы 6.2 видно, что доля прочих расходов и затрат на оплату труда сопоставима.

Отчисления на ремонт основных производственных фондов определяются исходя из стоимости активов. В таблице 9.3 приведены удельные значения расходов на ремонт оборудования.

Таблица 6.3 – Удельное значение расходов на ремонт оборудования

| Установленная мощность, МВт | Этапы жизненного цикла проекта, лет |            |             |          |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------|-------------|----------|
|                             | от 1 до 5                           | от 6 до 15 | от 16 до 25 | свыше 25 |
| от 100 МВт до 399 МВт       | 0,12%                               | 0,17%      | 0,3%        | 0,4%     |

На Дебедской ГЭС с установленной мощностью 142 МВт удельное значение расходов составит 0,12; 0,17%; 0,3% и 0,4%.

Расходы на услуги регулирующих организаций рассчитаны исходя из тарифов без НДС, по данным единых сценарных условий [38]. Данные по расходам на услуги регулирующих компаний представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расходы на услуги регулирующих организаций

| Наименование                              | Ставка                   | Величина, млн. руб. |
|---|--------------------------|---------------------|
| ОА "СО - ЕЭС"                             | 135,38 тыс. руб./МВт     | 19,22               |
| АО «АТС» (администратор торговой системы) | 0,001097 тыс. руб./МВт·ч | 1,35                |
| АО «ЦФР» (центр финансовых расчетов)      | 0,000318 тыс. руб. МВт·ч | 0,39                |
| Итого                                     |                          | 20,96               |

Огромная доля затрат приходится на услуги ОА "СО – ЕЭС". Это объясняется тем, что данная организация единолично осуществляет оперативно-диспетчерское управление в Единой энергетической системе России.

Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации приведены в таблице 6.5. Текущие затраты за весь период реализации проекта представлены в приложении Ж на рисунке Ж.1.

Таблица 6.5 – Текущие затраты по гидроузлу в первые годы эксплуатации

| Год  | 2023  | 2024   | 2025   | 2026   | 2027   |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|
| Амортизационные отчисления, млн. руб.                | 10,49 | 21,18  | 35,01  | 43,34  | 43,34  |
| Расходы на страхование, млн. руб.                    | 5,19  | 9,34   | 22,89  | 29,29  | 29,29  |
| Эксплуатационные затраты, млн. руб.                  | 31,30 | 75,13  | 75,13  | 75,13  | 75,13  |
| Расходы на ремонт производственных фондов, млн. руб. | 0,65  | 1,17   | 2,86   | 3,66   | 3,66   |
| Расходы на услуги регулирующих компаний, млн. руб.   | 8,73  | 20,95  | 20,95  | 20,95  | 20,95  |
| Налог на воду, млн. руб.                             | 2,94  | 8,83   | 8,83   | 8,83   | 8,83   |
| Итого, млн. руб.                                     | 59,30 | 136,60 | 165,67 | 181,20 | 181,20 |

Из таблицы 6.5 следует, что текущие затраты по Дебедскому гидроузлу в исследуемый период объясняется увеличением эксплуатационных расходов. Также происходит рост расходов на ремонт производственных фондов.

Для большей наглядности текущие затраты по Дебедскому гидроузлу представлены в виде диаграммы на рисунке 6.1.

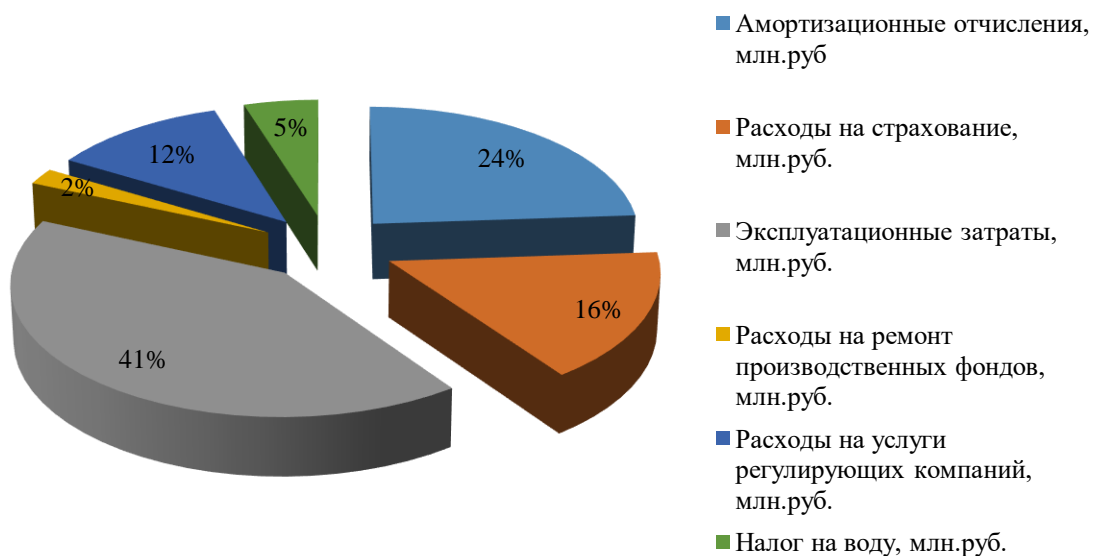


Рисунок 6.1 – Структура текущих затрат по гидроузлу

Большая часть основных средств списывается в первые годы эксплуатации, поэтому наиболее высокие будут затраты на эксплуатацию и амортизационные отчисления. Наименьшие затраты – расходы на ремонт производственных фондов и налог на воду, так как производство энергии и мощности происходит постепенно, с установкой первого агрегата и подключением к потребителю.

### 6.3 Налоговые расходы

Налоговые расходы представляют собой отток денежных средств после завершения строительства ГЭС. Значительная часть отчисляется в региональный бюджет в соответствии с Налоговым Кодексом РФ.

Учтены следующие налоги:

- Налог на прибыль – 20%;
- НДС – 20%;
- Взносы в социальные фонды – 34%;
- Налог на имущество – 2,2%
- Налог на воду на 1 тыс. кВт.ч – 4,8 руб.

Предполагаемые налоговые расходы при отсутствии льгот приведены в таблице 9.6.

Таблица 6.6 – Налоговые расходы

| Год                            | 2024   | 2025   | 2026   | 2027   | 2028   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Налог на прибыль, млн. руб.    | 249,17 | 241,75 | 252,10 | 272,02 | 280,01 |
| НДС, млн. руб.                 | 201,33 | 128,10 | 104,58 | 343,99 | 351,78 |
| Взносы в соц. фонды, млн. руб. | 61,67  | 61,67  | 61,67  | 61,67  | 61,67  |
| Налог на имущество, млн. руб.  | 19,77  | 40,57  | 65,37  | 64,42  | 63,47  |
| Итого, млн. руб.               | 531,93 | 472,09 | 483,73 | 742,10 | 756,93 |

Исходя из выше полученных данных в таблице 6.6, можно сделать вывод о том, что большую часть налогов, выплачиваемых ГЭС государству, занимают налог на добавленную стоимость и налог на прибыль.

Также из таблицы 6.6 видно, что ежегодно наблюдается рост налоговых расходов за счет увеличения НДС, налога на прибыль и налога на имущество.

#### 6.4 Оценка суммы прибыли

Прибыль является конечным финансовым результатом от продажи электроэнергии генерирующей компании и в общем виде представляет разницу между ценой продукции и её себестоимостью.

Годовая прибыль за первые годы эксплуатации представлена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Годовая прибыль за первые годы эксплуатации

| Год   | 2023   | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|
| Выручка (нетто), млн. руб.                    | 524,49 | 1198,29 | 1102,08 | 1012,70 | 929,44  |
| Текущие расходы, млн. руб.                    | 59,30  | 136,60  | 165,67  | 181,20  | 181,20  |
| ЕВИТ(прибыль до налогообложения), млн. руб.   | 643,94 | 1589,70 | 1631,90 | 1673,72 | 1714,53 |
| Скорректированный налог на прибыль, млн. руб. | 378,25 | 1240,78 | 1206,99 | 1271,99 | 1363,59 |
| НОРАТ (чистая прибыль)                        | 26,96  | 248,16  | 241,40  | 254,40  | 272,72  |
| Ставка налога на прибыль, %                   | 351,28 | 992,62  | 965,59  | 1017,59 | 1090,87 |

По данным таблицы 6.7 видно, что величина чистой прибыли напрямую зависит от величины выручки и текущих затрат. С увеличением выручки из-за роста цен на электроэнергию и роста объёмов продаж, а также уменьшением затрат, виден ежегодный рост чистой прибыли. Динамика чистой прибыли представлена на рисунке 6.2.

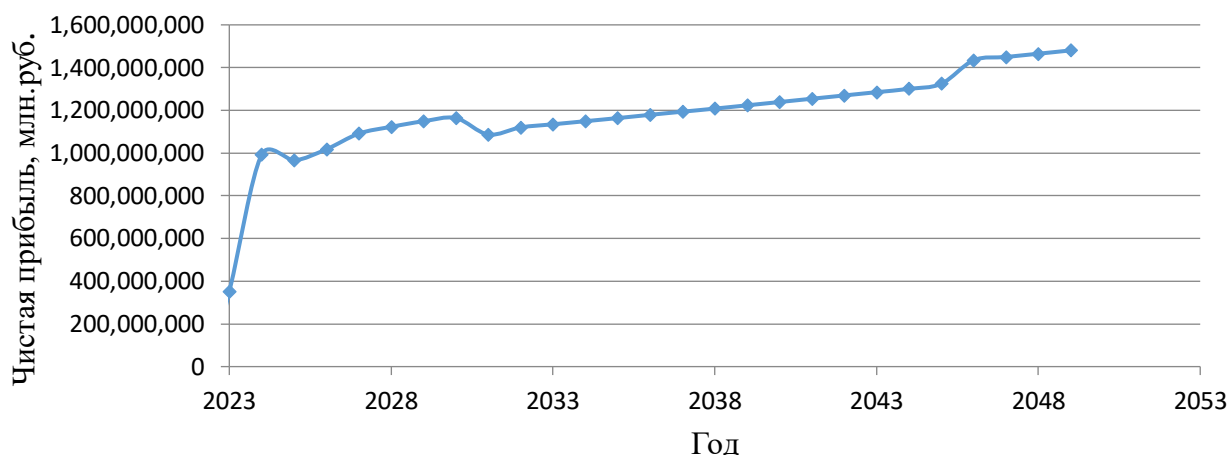


Рисунок 6.2 – Изменение суммы прибыли/убытков по проекту

Из рисунка 6.2 видно, что проект будет увеличивать свою экономическую эффективность с 2023 года, что обусловлено поочерёдным пуском гидроагрегатов.

## 6.5 Оценка инвестиционного проекта

Главной целью оценки инвестиционного проекта является определение целесообразности реализации проекта, с учетом условий Заказчика (Приложение к приказу ПАО «РусГидро» от 16.01.2017 № 9 – «Единые сценарные условия ПАО «РусГидро» на 2017-2042 гг.»).

### 6.5.1 Методология и исходные данные

Целью оценки является определение показателей эффективности проекта, к которым относятся:

1. Чистый дисконтированный доход;
2. Индекс прибыльности;
3. Срок окупаемости;
4. И т.д.

Данный раздел выполнен в соответствии с документацией, [38],[40],[41].

Расчеты производились с использованием лицензионной версии программного продукта «ProjectExpert».

Для целей финансово-экономического моделирования приняты следующие предпосылки:

- 1) период прогнозирования для Дебедская ГЭС на реке Дебед мощностью 142 МВт составляет 25 лет, в соответствии со сроком службы основного оборудования;
- 2) используемая при оценке эффективности финансовая модель отражает реальную ситуацию, сложившуюся к настоящему моменту на российском рынке;
- 3) предполагается, что в течение времени реализации проекта не будет

происходить глобальных изменений существующих правил и законов.

### 6.5.2 Показатели коммерческой эффективности проекта

Цель проведения расчетов коммерческой эффективности проекта сводится к определению показателей эффективности инвестиций проекта, представленных в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Показатели эффективности инвестиций

| Наименование                                    | 2020    |
|---|---------|
| Ставка дисконтирования                          | 11,6    |
| Дисконтированный период окупаемости - DPB, мес. | 158     |
| Чистый приведенный доход – NPV, млн. руб.       | 2376,08 |
| Индекс прибыльности – PI                        | 1,76    |
| Внутренняя норма рентабельности - IRR, %        | 17,99   |
| Себестоимость эл. энергии, руб/КВтч             | 0,203   |

Из данных таблицы 6.8 видно, что период окупаемости проекта составляет 158 месяцев (13,2 лет). Для его сокращения можно прибегнуть к некоторым вариантам, например, таким, как привлечение государственных средств или кредитов для реализации строительства Дебедской гидроузла.

Индекс прибыльности  $PI > 1$ , что указывает на перспективность и эффективность развития проектируемого объекта.

Показатель чистого приведённого дохода инвестиционного проекта является положительной величиной, что указывает на прибыльность проекта, его экономический потенциал и привлекательность инвестирования.

### 6.6 Бюджетная эффективность

Показатели бюджетной эффективности отражают влияние результатов проекта на доходную часть федерального и регионального бюджета. Доходная часть бюджетов различных уровней формируется за счёт налоговых поступлений, величина которых показана в таблице 9.9.

Таблица 6.9 – Предполагаемые налоговые поступления в федеральный и региональные бюджеты

| Год                              | 2021  | 20211 | 2023  | 2024   | 2025   |
|----------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| В Федеральный бюджет, млн. руб.  | 61,67 | 61,67 | 70,47 | 521    | 440,35 |
| В региональный бюджет, млн. руб. | 0,38  | 0,38  | 7,71  | 20,13  | 40,94  |
| Налоговые поступления, млн. руб. | 62,05 | 62,05 | 78,19 | 541,13 | 481,29 |



Отчисления в федеральный бюджет таких налогов, как НДС, налога на прибыль, отчислений во внебюджетные фонды и водного налога, а также в региональный бюджет налога на имущества делают проект общественно привлекательным.

Также стоит отметить, что налоговые поступления увеличиваются из-за повышения выручки от реализации электроэнергии и мощности.

## 6.7 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности позволяет определить насколько сильно изменится эффективность проекта при определённом изменении одного из параметров проекта.

В данном разделе проведен анализ чувствительности величины чистого дисконтированного дохода к изменениям:

- объема инвестиций;
- ставки дисконтирования;
- цены сбыта;
- ставки налогов;
- заработной платы.

Пределы изменения рассматриваемых факторов определялись экспертно.

Изменение величины чистого приведенного дохода (PI) от изменения ставки налогов представлено на рисунке 6.3.

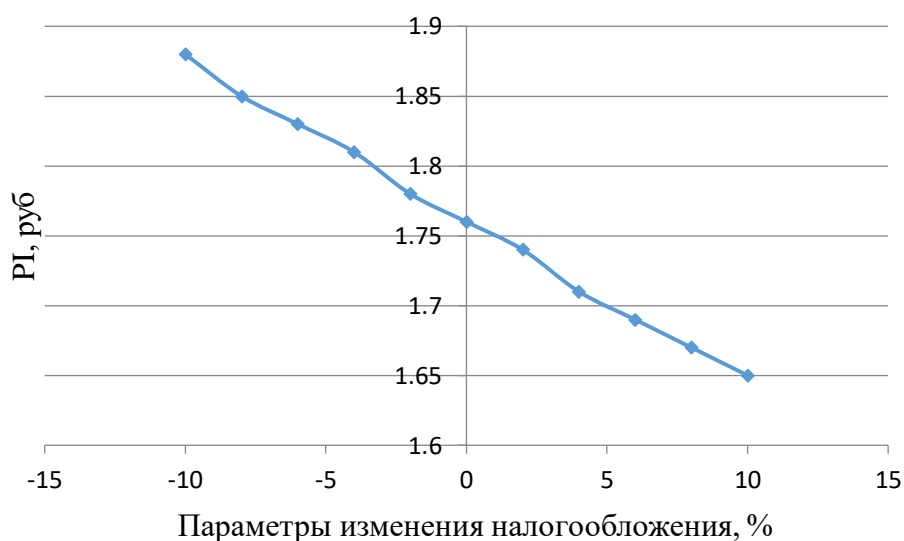


Рисунок 6.3 – Изменение величины PI от изменения ставки налогов

Из рисунка 6.3 можно сделать вывод о том, что с увеличением ставки налогов уменьшается величина PI, то есть к обратной зависимости величины PI. Изменение величины чистого приведенного дохода (PI) в зависимости от изменения цены сбыта, представлено на рисунке 6.4.

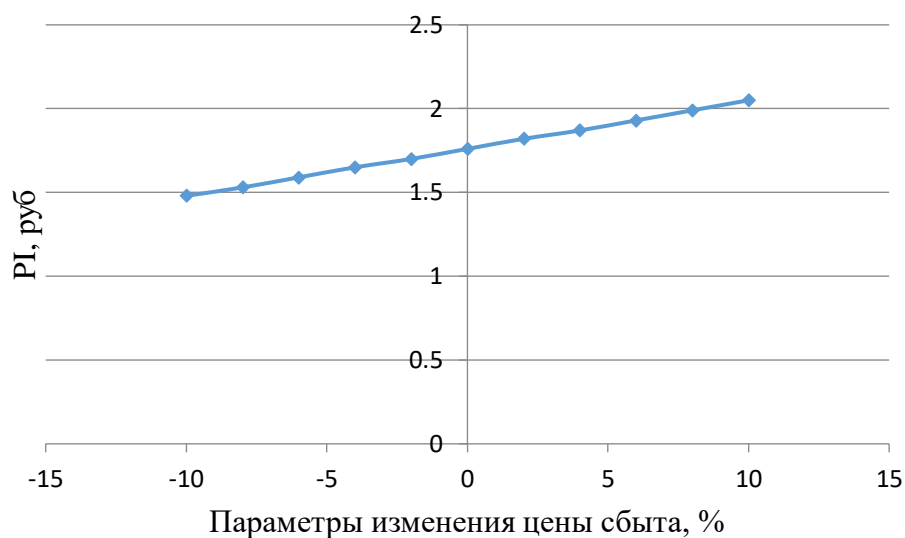


Рисунок 6.4 – Изменение величины PI в зависимости от изменения цены сбыта

Из рисунка 6.4 следует вывод: увеличение цены сбыта ведет к увеличению прибыли с каждой единицы продукции, соответственно это ведет к росту прибыльности.

Изменение PI в зависимости от ставки дисконтирования, представлено на рисунке 6.5.

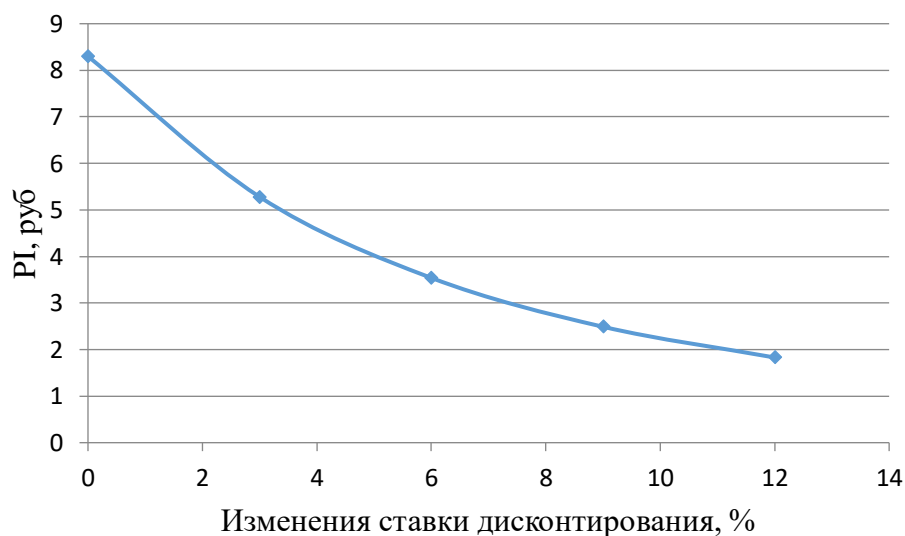


Рисунок 6.5 – Изменение PI в зависимости от ставки дисконтирования

Вывод: увеличение ставки дисконтирования влечет за собой уменьшение величины PI, связь между параметрами обратно пропорциональная.

Проведенный анализ чувствительности показал, что наибольший риск для проекта представляют изменение следующих параметров:

- 1) Увеличение ставки дисконтирования
- 2) Увеличение объема инвестиций.

## **7 Охрана окружающей среды**

### **7.1 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период строительства**

В период строительства Дебедского гидроузла предусмотрены мероприятия по подготовке ложа водохранилища, а также мероприятия по минимизации воздействия на окружающую среду непосредственно от строительства.

Воздействие на окружающую среду в период строительства:

- создание водохранилища, трансформация ландшафтов, климатические изменения.
- подготовка ложа водохранилища, в том числе свodka леса и очистка территории.
- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на этапе строительства.
- опасности и риски для населения и персонала, связанные с состоянием гидротехнических сооружений и порядком строительства и эксплуатации ГЭС.

В соответствии с требованиями СП от 01.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» в рамках проведения работ по санитарной подготовке ложа водохранилища необходимо выполнить очистку территории от остатков строений и мусора.

Кроме того, в состав санитарных мероприятий входит очистка ложа от древесной и кустарниковой растительности.

При проектировании мероприятий по инженерной защите населенных пунктов, попадающих в зону затопления, подтопления, берегообрушения, должны быть предусмотрены:

- технические мероприятия, исключаящие затопление и подтопление оставляемых населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, обеспечивающие нормальные условия труда и быта населения.
- технические мероприятия по дренированию естественного поверхностного стока с собственной территории инженерной защиты.

### **7.2 Мероприятия по подготовке ложа водохранилища**

Основные требования к проектированию, строительству и эксплуатации водохранилищ регламентируются СП от 1.07.1985 № 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ», в соответствии с которыми:

1. Разрабатываемые предпроектные материалы, проекты строительства и реконструкции водохранилищ подлежат обязательному согласованию с органами государственного санитарного надзора.

2. Мероприятия по подготовке ложа водохранилища и санитарные попуски составляются с учетом необходимых инженерных изысканий расчетов, вариантных проработок в ТЭО (ТЭР), в проектах строительства водохранилищ.

3. Работы по санитарной подготовке ложа водохранилища должны быть закончены не позднее, чем за один весенне-летний сезон до начала заполнения водохранилища.

4. Требования к переносу и инженерной защите населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений.

Создание водохранилища влечет за собой необходимость в переселении жителей из зоны затопления.

- На территории населенных пунктов, полностью или частично выносимых из зоны затопления, подлежат удалению мосты, телеграфные столбы, фундаменты и другие сооружения.

- Оставшийся строительный мусор, солома, гнилая древесина и др. сжигаются на месте.

- Металлический лом собирается и вывозится за пределы территории зоны санитарной очистки.

- Выгреба уборных после вывоза отходов дезинфицируются сухими препаратами ДТС КГ или хлорной известью и засыпаются чистым грунтом.

- Нечистоты из уборных, бытовые отбросы вывозятся за пределы территории зоны санитарной очистки.

- Очистные канализационные сооружения, свалки, поля ассенизации, орошения и фильтрации, попадающие в зону санитарной очистки, подлежат закрытию.

- Навоз, навозные стоки и мусор животноводческих объектов обеззараживаются, после чего вывозятся на сельскохозяйственные поля.

- Почва животноводческих помещений, загонов прожигается с применением горючих материалов или орошается растворами двурети основной соли гипохлорита кальция или хлорной извести, содержащей не менее 5% активного хлора, после чего слой почвы глубиной до чистого вывозится за пределы территории затопления и закапывается на территории скотомогильника на глубину не менее 2м.

Основные мероприятия по охране окружающей среды в данный период:

1. Организационные:

1.1 Разработка и утверждение проектов нормативов предельно-допустимых выбросов в атмосферный воздух (ПДВ) ;

1.2 Разработка и утверждение проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР);

1.3 Разработка, согласование и утверждение нормативов допустимых сбросов (НДС) веществ и микроорганизмов в водные объекты;

1.4 Получение разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

- 1.5 Получение разрешений на сброс загрязняющих веществ в водные объекты;
- 1.6 Оформление Решения о предоставлении водного объекта в пользование в целях сброса сточных или дренажных вод;
- 1.7 Расчет и своевременное внесение платы за негативное воздействие на окружающую среду;
- 1.8 Организация и проведение производственного экологического контроля
- 2. Санитарно – технические:
  - 2.1 Раздельное накопление опасных отходов по видам отходов и классам опасности;
  - 2.2 Размещение отходов на специализированных и оборудованных в соответствии с требованиями законодательства полигонах ;
  - 2.3 Передача на использование лома черных и цветных металлов, отходов кабельной продукции;
  - 2.4 Передача отработанных масел на обезвреживание специализированной организации;
  - 2.5 Учет образования, использования, передачи отходов с регистрацией в журналах;
  - 2.6 Организация контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ
  - 2.7 Организация и осуществление контроля качества сточных , дренажных и природных поверхностных вод;
  - 2.8 Соблюдение режима хозяйствования в водоохранной зоне;
  - 2.9 Передача хозяйственно бытовых сточных вод специализированной организации на обезвреживание;
  - 2.10 Организация стоянок автотранспорта в специально- оборудованных местах , имеющих твердое покрытие .

### 7.3 Отходы, образующиеся при строительстве

В связи с тем, что в период строительства будет выполняться большой объем строительно-монтажных работ, при этом будет образовываться большое количество отходов, в том числе:

Лом бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме:

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho = \frac{S_6 \cdot B \cdot q}{100\%} \cdot \rho = \frac{1222 \cdot 134 \cdot 1,8}{100\%} \cdot 2,5 = 7368,7 \text{ т}, \quad (7.1)$$

где  $N$ - объем бетонных работ, м<sup>3</sup> (163748 м<sup>3</sup>)  
 $q$ - удельный норматив образования, % ( $q = 1,8\%$ )  
 $S_6$  – площадь быка в плане ( $S_6 = 1222 \text{ м}^2$ )  
 $B$  – ширина плотины ( $B = 134$ )  
 $\rho$ - плотность бетона, т/м<sup>3</sup> ( $\rho = 2,5 \text{ т/м}^3$ )

Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные

Удельный норматив образования отходов принимается в соответствии с Приложением к сборнику Типовых норм потерь материальных ресурсов в строительстве (дополнение к РДС 82-202-96) Москва, Госстрой России, 1988г. , таблица 4, норма образования отходов арматуры составляет 1,0 %.

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho, \quad (7.2)$$

где  $N$  – количество арматуры, т (около 20% от общего объема бетона,  $N = 32750$  т);

$q$  - удельный норматив образования, % ( $q = 1,0\%$ );

$\rho$  - удельный вес арматуры, т/м<sup>3</sup> ( $\rho = 2,0$  т/м<sup>3</sup>).

$$M = \frac{N \cdot q}{100\%} \cdot \rho = \frac{32750 \cdot 1,0}{100\%} \cdot 2,0 = 655 \text{ т.}$$

Таким образом в результате строительства будет образовано 7368,7 т лома бетонных изделий (отходы бетона в кусковой форме), 655 т отходов черных металлов в виде изделий, кусков. Отходы бетона должны быть вывезены на захоронение на специализированный полигон. Отходы черного металла должны быть переданы специализированной организации, имеющей лицензию на заготовку лома черных металлов в целях дальнейшей переплавки, так как черный металл является вторичным ресурсом.

#### **7.4 Мероприятия по обеспечению охраны окружающей среды в период эксплуатации**

В период эксплуатации Дебедского ГУ воздействие на окружающую среду будет оказываться:

- Сбросом сточных (дренажных, дождевых и талых) вод;
- Выбросами в атмосферу от: периодического опробования дизель-генераторов, сварочных и окрасочных работ, проводимых в период текущих и капитальных ремонтов;
- Образованием отходов при эксплуатации, техобслуживании и текущих капитальных ремонтах оборудования, производственных зданий и сооружений;
- На среду обитания населения близлежащих населенных пунктов, связанные с процессом строительства и эксплуатации ГЭС и состоянием гидротехнических сооружений.

В период эксплуатации ГЭС основными мероприятиями по охране окружающей среды являются:

- Регулирование водным режимом водотока;
- Очистка воды, сбрасываемой в водные объекты;
- Обеспечение условия непопадания масел и других загрязняющих веществ в водный объект;

- При проведении ремонтов должно обеспечиваться непопадание загрязняющих веществ в водные объекты.

В связи с тем, что на расстоянии 12 км от ГЭС находится населенный пункт – г.Алаверди, согласно СП от 2.2.1/2.1.11200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» требуется проведение исследований по необходимости установления санитарно-защитной зоны: исследования химических (выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от источников выбросов) и физических (шум, инфразвук, интенсивность электромагнитных полей) факторов.

Также, согласно СП от 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения питьевого назначения» требуется выполнение мероприятий по не ухудшению качества воды реки Дебед от сбросов Дебедской ГЭС ниже по течению реки.

Режим использования зон санитарной охраны источников (ЗСО) питьевого водоснабжения города Чемал, в пределах пром. площадок объектов Дебедской ГЭС регламентируется требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02:

- в первом поясе ЗСО не допускается спуск любых сточных вод, в том числе сточных вод водного транспорта;

- выявление объектов загрязняющих источников водоснабжения, с разработкой конкретных водоохранных мероприятий, обеспеченных источником финансирования, подрядными организациями и согласованных с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

## 8 Охрана труда

Проектирование, строительство, реконструкция, ремонт и организация эксплуатации гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования энергоснабжающих организаций, территория и акватория, где они размещаются, а также основное и вспомогательное оборудование, средства механизации и автоматизации должны соответствовать действующим нормам технологического проектирования гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций, трудового кодекса, санитарным правилам по организации технологических процессов и санитарно-гигиеническим требованиям к производственному оборудованию, государственным стандартам безопасности труда, правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей, правилам устройства электроустановок, техническому регламенту о пожарной безопасности и правилам противопожарного режима РФ и иным действующим государственным и отраслевым нормативным и правовым актам.

Отступления от требований вышеперечисленных правил как при обслуживании действующего, так и вновь вводимого или реконструируемого оборудования не допускаются, за исключением введения новых нормативных актов по охране труда.

Основными задачами в области охраны труда, техники безопасности при эксплуатации оборудования и сооружений ГЭС является создание безопасных условий труда, обучение персонала безопасным приёмам работ, приёмам оказания первой помощи при несчастных случаях, выявление и устранение причин производственного травматизма, повышение культуры производства, разработка и осуществление организационно-технических и санитарно-гигиенических мероприятий по предупреждению, а также снижению производственного травматизма и заболеваемости.

На ГЭС организацию работы по технике безопасности, охране труда должен осуществлять руководитель организации, руководители подразделений и производственных участков. Данные лица, в соответствие со своими должностными инструкциями, обязаны обеспечить проведение организационных и технических мероприятий по созданию безопасных условий труда, инструктаж и обучение персонала безопасным методам работы и контроль выполнения правил техники безопасности.

Приказом руководителя ГЭС должно быть назначено лицо, ответственное за организацию практической работы и осуществляющее внутренний надзор за состоянием охраны труда и техники безопасности.

Расследование несчастных случаев на гидроэлектростанциях производится в соответствии с действующим положением о расследовании и учёте несчастных случаев на производстве.

На ГЭС должен быть организован кабинет по охране труда, являющийся организационным и учебно-методическим центром по работе с персоналом.



Каждый работник станции должен быть обучен безопасным методам выполнения работ, в том числе при проведении огневых работ, пройти проверку знаний и иметь документ о праве проведения этих работ.

Оборудование гидроэлектростанций должно находиться в технически исправном состоянии, обеспечивающим безопасные условия труда, и быть укомплектовано испытанными, готовыми к использованию защитными средствами, а также средствами оказания первой медицинской помощи в соответствии с действующими правилами и нормами. Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ на конкретных участках гидроэлектростанций, являются:

- оформление наряда, распоряжения или перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдача разрешения на подготовку рабочего места и на допуск к работе;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

При выполнении работ по эксплуатационному обслуживанию, ремонту, наладке и испытаниям гидротурбинного оборудования, электрического оборудования, механического оборудования ГТС и ГТС ГЭС должны выполняться требования действующих общих правил безопасности для этой деятельности, стандартов организации (инструкций) гидроэлектростанций.

В техническую документацию по эксплуатации и техническому обслуживанию основного гидротурбинного оборудования и механической части гидрогенераторов, включая вспомогательное оборудование; по эксплуатации ГТС; по техническому обслуживанию ГТС; по техническому обслуживанию напорных металлических и железобетонных трубопроводов; по обслуживанию механизмов затворов гидротехнических сооружений; по расчистке водных объектов и сооружений от сора; по пропуску паводковых и паводковых расходов воды через сооружения; по опорожнению и наполнению водохранилища и бьефа; по расчистке водохранилищ от наносов; на всех объектах ГЭС, выполняемых в зимний период; на объектах ГЭС, выполняемых под водой (водолазные работы); по обслуживанию иных объектов ГЭС, должны быть включены требования по безопасной организации работ и охране труда. Так же на ГЭС должны быть разработаны и доведены до сведения всего персонала безопасные маршруты следования по территории к месту работы, оперативные планы пожаротушения и эвакуации людей на случай пожара или аварийной ситуации.

## 9 Пожарная безопасность

Требования к пожарной безопасности в Российской Федерации изложены в правилах пожарной безопасности, утверждённых МЧС России. В соответствии с действующим законодательством ответственность за противопожарное состояние ГЭС возлагается на руководителя станции или другое лицо, назначенное приказом.

ГЭС должны быть оборудованы установками пожарной сигнализации и системой оповещения и управления эвакуацией людей.

Ответственность за пожарную безопасность отдельных производственных и вспомогательных помещений (сооружений) и размещённых в них оборудования и устройств возлагается на руководителей структурных подразделений или на специально назначенных должностных лиц.

Руководители структурных подразделений, ответственные за пожарную безопасность, обязаны:

- обеспечить на своих участках соблюдение установленного противопожарного режима и выполнение мероприятий, повышающих пожарную безопасность;

- обеспечить исправность технологического оборудования, немедленно принимать меры к устранению неисправностей, которые могут привести к пожару;

- организовать пожарно-техническую подготовку подчинённого персонала и требовать от него соблюдения противопожарного режима и выполнения установленных требований пожарной безопасности;

- обеспечить контроль за выполнением требований пожарной безопасности при проведении ремонтных работ персоналом подразделений и подрядными организациями;

- установить порядок и ответственность за содержание в исправном состоянии постоянной готовности к действию имеющихся на участке средств обнаружения и тушения пожара.

В обязанности оперативного персонала входит: при возникновении пожара, аварии или других опасных факторов, угрожающих персоналу и нарушающих режим работы оборудования, принять меры к немедленному вызову пожарных подразделений, известить руководство гидроэлектростанции, обесточить электрооборудование в зоне пожара, выдать письменный допуск для тушения пожара, организовать его тушение и эвакуацию персонала (при необходимости), а также восстановление нормального режима работы оборудования и т.д.

Каждый работающий на ГЭС обязан знать и соблюдать установленные требования пожарной безопасности на рабочем месте, в других помещениях и на территории, при возникновении пожара немедленно сообщить вышестоящему руководителю или оперативному персоналу о месте пожара, принять возможные меры к спасению людей, имущества и приступить к ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения с соблюдением мер безопасности.

Подготовка инженерно-технических работников, рабочих и служащих ГЭС по пожарной безопасности состоит из следующих основных положений:

- вводный инструктаж по пожарной безопасности;
- проводимые в структурных подразделениях регулярные инструктажи, по вопросам пожарной безопасности;
- занятия по пожарно-техническому минимуму для соответствующих категорий персонала;
- проведение противопожарных тренировок; - повышение квалификации в учебных центрах, а также при проведении семинаров и целевых конференций по противопожарной защите;
- изучение и проверка знаний правил пожарной безопасности.

Проверка знаний и инструкций по пожарной безопасности и конкретные требования по работе с персоналом определяются «Правилами организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства».

Все лица, поступающие работать на ГЭС, либо принятые на временную работу, учащиеся и студенты, проходящие производственную практику, должны пройти вводный инструктаж по пожарной безопасности.

## 10 Современные геодезические технологии в мониторинге ГЭС

Важной составляющей безопасной эксплуатации ГЭС является постоянный контроль её технического состояния

На бетонных плотинах устанавливают достаточное количество планово-высотных марок, положение которых контролируется относительно исходных пунктов с помощью геодезических приборов и инструментов. Как правило, измерения производятся по программе натурных наблюдений, утверждённых для каждого конкретного гидротехнического сооружения.

В качестве уровней значений диагностических показателей, описывающих их критические положения, обычно назначаются критерии безопасности K1 и K2, где: критерий безопасности

K1 - первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, характеризующий переход сооружения от работоспособного состояния к частично работоспособному состоянию, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность водосбросных и водопропускных сооружений соответствуют условиям нормальной эксплуатации;

K2 – второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, характеризующий переход сооружения от частично работоспособного в неработоспособное (предаварийное) состояние, при превышении которого эксплуатация гидротехнического сооружения в проектных режимах не допустима.

В рамках данной работы по выполнению программы «Современные геодезические технологии в мониторинге ГЭС» выполнено проектирование автоматизированных систем диагностического контроля (АСДК) за состоянием гидротехнических сооружений проектируемой Дебедской ГЭС.

### 10.1 Автоматическая система диагностического контроля

Автоматическая система диагностического контроля предназначена для измерений значений физических величин (осадок, перемещений, сдвигов, фильтрационного давления, наклоны) с помощью первичных преобразователей и опроса дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры, установленных на гидротехнических сооружениях, одновременно сравнивающая полученные результаты измерений с критериями оценки технического состояния и безопасности сооружений.

Система АСДК включает в себя автоматизированную систему опроса датчиков (АСО КИА) и информационно-диагностическую систему (ИДС), работающие в общей компьютерной сети (локальной или корпоративной) и интегрированные на программном уровне. Автоматизированная система диагностического контроля безопасности (АСДК) ГЭС должна удовлетворять требованиям по функциональности, надежности и экономичности.

АСДК ГЭС структурно делится на 3 уровня и включает в себя следующие элементы:

I уровень – контрольно-измерительная аппаратура (КИА): датчики, измерительные устройства;

II уровень – система телекоммуникаций, преобразования и передачи информации на центральный блок сбора данных АСО КИА;

III уровень – программно-технический комплекс, содержащий центральный блок автоматизированного опроса АСО КИА и информационно-диагностическую систему контроля безопасности сооружений (ИДС) с соответствующим компьютерным и программным обеспечением.

## **10.2 Выбор аппаратно-программных средств**

### **10.2.1 Оборудование для контроля раскрытия швов.**

Главным требованием к проектируемой АСДК является способность оборудования выдерживать сильные помехи и нагрузки, вызванные пропуском воды через водосливную плотину, либо через водоприёмник. Так же, данная система систем диагностического контроля должна учитывать следующие факторы:

- 1) возможность подтопления части точек в период паводка;
- 2) особенности температурного режима, способность считывать показания при низких или высоких температурах.

Проанализировав оборудование для контроля раскрытия швов бетонных конструкций, выбор был остановлен на «трехосных щелемеров» серии «ЗИ-2.3» в количестве 36 штук. В спектр их возможностей входят наблюдения за качественными характеристиками трещин (шириной раскрытия) и регистрация полученных значений. Полученные данные (расстояние по трем сторонам) заносятся в электронный, где в автоматическом режиме осуществляется подсчет таких значений как "значение перемещения (с последнего измерения), "направление движения в данном цикле измерений (раскрытие/закрытие трещины)", "накопленные перемещения (с момента установки маяка)".

Маяк имеет три реперные точки для точных измерений, изготовленные из нержавеющей стали. Благодаря этому решению достигается возможность установки маяка в агрессивных условиях.

### **10.2.2 Наблюдения за плановыми перемещениями**

Конструкция деформационных марок и способы их установки должны обеспечивать долговременную сохранность, устойчивость и удобство выполнения измерений.

При закреплении деформационных марок обязательными условиями являются:

- 1) жесткая связь с конструкциями сооружения;
- 2) безопасность и доступность для производства геодезических работ;
- 3) защита от механических повреждений.

Места расположения осадочных марок определяют по согласованию с проектной организацией в зависимости от конструкции сооружения, распределения нагрузок, геологических и гидрологических условий основания. Число марок рассчитывают из условий определения неравномерности осадок, кренов и прогибов наблюдаемых сооружений.

Итоговой нормируемой деформационной характеристикой является отклонение его верха от вертикали (крен). Основное влияние на эту величину оказывают неравномерные осадки основания. Однако из-за особенностей конструкции плотин деформации основания не полностью определяют итоговую деформацию верха гидротехнического сооружения.

При выборе методов проведения мониторинга гидротехнических сооружений учитывают факторы, приведённые ниже.

Внешние факторы: гидростатическое давление со стороны верхнего бьефа, колебание температуры, односторонний солнечный нагрев, ветровую нагрузку.

Техногенные факторы: вибрацию, неравномерность нагрузки от функционирования передвижных подъемных устройств, стесненные условия для наблюдений внутри (сравнительно малые габариты фундамента) и вокруг строительного объекта.

Для измерения горизонтальных перемещений надземной части ГТС методом координат в процессе его возведения вдоль выбранных поперечных и продольных осей с внешней стороны устанавливают триппельпризменные пластиковые отражатели или специальные марки.

Постоянные опорные пункты (точки стояния инструмента Л и П) располагают на расстоянии, обеспечивающим видимость на все контрольные точки и закреплённых постоянными устойчивыми знаками с принудительной центрировкой прибора. Устойчивость опорных пунктов определяется от пунктов каркасной сети гидроузла. Измерения рекомендуется производить ежегодно при достижении максимального уровня ВБ.

Все измерения производят только в безветренную, желательно пасмурную погоду. При измерениях фиксируют направление и скорость ветра.

За основу была взята схема установки КИА для наблюдения за плановыми перемещениями гребня и низовой грани плотины Миатлинской ГЭС. Боковые плановые марки в количестве 10 штук расположены на плотине, из них 6 установлены на гребне, а 4 (отм. 690 м) на низовой грани плотины. С правого и левого берегов располагаются опорные геодезические пункты (Л, П).

В качестве измерительного прибора принят электронный тахеометр TS15 Leica Viva. Характеристики данного тахеометра:

- точность определения дистанции 0,6мм+1ppm, угловых Hz и V 0,5'';
- диапазон 1,5–5000 м;
- автоматическое распознавание цели (ATR);
- прямой привод Piezo 180°/сек;
- обзор и камера зрительной трубы – 5 Мр, 20 кадр./сек.

Использование двух электронных тахеометров и СПО «GeoMOS» позволяет автоматизировать систему измерений за вертикальными и

горизонтальными перемещениями элементов плотины. Так же имеется возможность совместного использования TPS и GNSS одновременно.

### **10.2.3 Наблюдения за высотными перемещениями**

Основными методами высотного геодезического мониторинга деформаций инженерных сооружений являются геометрическое и гидростатического нивелирования.

За основу была взята схема установки КИА для наблюдения за высотными перемещениями гребня и низовой грани плотины Гунибской ГЭС. Используются поверхностные марки в количестве 10 штук, из них 6 установлены на гребне плотины, а 4 – на водоприёмнике.

Наблюдения ведутся от кустов фундаментальных реперов левого и правого берега. Для наблюдения по воронке оседаний и возможного взаимного перекоса берегов кусты фундаментальных реперов связываются нивелирным ходом с фундаментальными реперами нижнего бьефа, заложенными на удалении 8-10 высот плотины. Наблюдения рекомендуется производить при минимальном и максимальном уровне ВБ.

Основным измерительным прибором в системе является высокоточный электронный нивелир, применения которого обеспечивает высокую точность и скорость производства измерений.

Нивелирная трасса закрепляется стационарно.

Для проектируемой Дебедской ГЭС приняты электрические нивелиры фирмы Trimble DiNi 03.

Цифровой нивелир Trimble DiNi 0,3 – это высокоточный геодезический прибор для измерения превышений, задания горизонтальных направлений и решения других общестроительных и геодезических задач. Главная особенность этого прибора – автоматическое снятие отсчётов, определение расстояния до рейки и вычисление превышений на станции и по секции нивелирного хода. Точностью на 1 километр двойного хода составляет  $\pm 0,3$  мм.

Высокую точность и достоверность обеспечивает автоматизированная система считывания показаний. Цифровой нивелир Trimble DiNi 0,3 снимает точные измерения со специальной рейки с BAR-кодом, затем выводит результат на экран и сохраняет его в памяти. Это существенно сокращает время для снятия показаний по сравнению с использованием оптических высокоточных нивелиров.

### **10.2.4 Оценка неравномерной осадки**

Метод гидростатического нивелирования применяют для определении осадок и деформаций различных сооружений. Достоинства метода заключаются в высокой точности измерений ( $m_n=0,02$  мм), простоты измерительного прибора, оперативности и возможности автоматизации процесса измерений. Наиболее эффективно применение гидростатического

нивелирования в стесненных условиях закрытых помещений с малой освещённостью, где традиционные методы применить практически невозможно.

В основу метода гидростатического нивелирования положено свойство сообщающихся сосудов: жидкость в них устанавливается на одном уровне, а ее поверхность располагается перпендикулярно к направлению силы тяжести.

Для проектируемой АСДК приняты гидростатические нивелиры ОДГН-1 производства НПК «Фаза»:

- диапазон –  $\pm 20,05$  мм;
- пределы СКП 0,02 мм;
- пределы абсолютной погрешности  $\pm 0,06$  мм.

Гидростатические нивелиры производства НПК «Фаза» лучше своих зарубежных аналогов фирмы «Balluff» и «Sick» и уже применяются на Саяно-Шушенской, Красноярской и Богучанской ГЭС, где хорошо себя зарекомендовали.

### **10.2.5 Программная часть**

Данные из сервера сбора данных системы КИА передаются в информационно-диагностическую систему Дедал. ИДС Дедал представляет собой заключительное звено автоматизированной системы диагностического контроля состояния гидротехнических сооружений (АСДК ГТС).

Важнейшими функциями системы являются обеспечение ввода результатов натурных наблюдений в электронную базу (с последующим хранением) и визуализация этих данных в виде таблиц, графиков, эюр, топограмм и т.п.

ИДС Дедал позволяет полностью или частично автоматизировать сбор и обработку данных и предоставляет инженеру-гидротехнику широкий набор инструментов для анализа информации.

Отличительной особенностью ИДС Дедал является использование 3D-моделирования для представления модели сооружений и КИА, а также размещения пространственных графических форм представления данных. Применение интерактивных 3D-моделей позволило сделать интерфейс мощным, функциональным, удобным в работе и простым в освоении.

В настоящее время ИДС Дедал внедрена и успешно используется на Усть-Илимской ГЭС, Чиркейской ГЭС, Бурейской ГЭС.

Основные функции ИДС Дедал:

- организация автоматического опроса дистанционной КИА в соответствии с программой натурных наблюдений;
- ручной ввод данных замеров;
- автоматический расчет физических величин и показателей состояния на основе полученных данных;
- расчет диагностических критериев и сопоставление с ними фактических значений показателей состояния;



- формирование и выдача предупредительных сигналов при превышении диагностических критериев;
- ведение журналов визуальных наблюдений;
- формирование отчетных таблиц;
- построение графиков, эпюр, векторных полей.

### 10.3 Принятые системы

Таблица 10.1 – Системы, принятые для проектируемой ГЭС

| Вид наблюдения        | Принятое оборудование | Количество |
|-----------------------|-----------------------|------------|
| контроль швов         | ЗИ-2.3                | 36         |
| плановые перемещения  | TS15 Leica Viva       | 2          |
| высотные перемещения  | Trimble DiNi 0,3      | 2          |
| осадка внутри плотины | ОДГН-1                | 2          |
| программная часть     | ИДС «Дедал»           | 1          |

### 10.4 Выводы

Система АСДК ГТС согласно проекту отвечает следующим требованиям:

- 1) обеспечивает автоматизированный опрос датчиков, сбор информации, её хранение, передачу, обработку и анализ в информационно-диагностической системе контроля безопасности сооружений Дедал;
- 2) использует существующую сеть гидронивелиров и щелемеров на территории плотины;
- 3) для наблюдения за плановыми и высотными перемещениями так же используются уже существующие схемы установок геодезических КИА;
- 4) формирует информационный пакет данных натуральных наблюдений с помощью программного комплекса «Дедал» с сохранением всей информации в базе данных;
- 5) обеспечивает автоматический опрос датчиков по заданному временному режиму с возможностью ручного запуска опроса для наладки проверки системы КИА;
- 6) производит обработку измерительной информации;
- 7) по всем своим техническим средствам, включая контрольно-измерительную аппаратуру, соответствует условиям эксплуатации, имеющим место на таких гидротехнических сооружениях, как плотина и водоприёмник.

Все применяемые системы на проектируемой Дебедской ГЭС на сегодняшний день являются передовыми или около- передовыми. Данные системы, благодаря широкому распространению, уже зарекомендовали себя с положительной стороны, а их наличие в общем доступе свидетельствует об отсутствии возможных возникновений проблем с их закупкой и транспортировкой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе бакалаврской работы были определены основные элементы и параметры Дебедского гидроузла высотой 210 м на реке Дебед, являющимся сооружением I класса, исходя из её высоты, социально-экономической ответственности и последствия возможных гидродинамических аварий.

В первом этапе на основе гидрологических данных были определены значения максимальных расчетных расходов для основного расчетного случая обеспеченностью ( $P=0,1\%$ )  $165 \text{ м}^3/\text{с}$  и максимальный расход при поверочном расчётном случае  $186 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $P = 0,01\%$ ).

В ходе водно-энергетических расчетов на основе исходных данных по энергосистеме и гидрологии была выбрана установленная мощность Дебедской ГЭС, а также определена зона её работы в суточных графиках нагрузки для зимы и лета. Установленная мощность составила  $N_{\text{уст}} = 142 \text{ МВт}$ . Определен уровень мертвого объема, отметка которого равна 698 м. Полезный объем при данных отметках НПУ 710 и УМО составляет  $0,4 \text{ км}^3$ . Произведена оценка среднемноголетней выработки электроэнергии, которая составляет 806 млн кВт·ч.

На третьем этапе было определено оптимальное число и тип гидроагрегатов электростанции. Для этого была построена область допустимых режимов работы (режимное поле по напору и расходу), на которой определены следующие напоры:

- $H_{\text{max}} = 212 \text{ м}$ ;
- $H_{\text{расч}} = 210 \text{ м}$ ;
- $H_{\text{min}} = 208 \text{ м}$ ;

По данным напорам было подобрано основное и вспомогательное оборудование:

- тип турбины РО230а-В-224;
- тип генератора ВГС475/210 14;
- количество агрегатов 2 шт.

На четвертом этапе была определена ширина водосливного фронта, которая составила 8 м (2 пролета по 4 м), далее была определена отметка гребня водослива  $\nabla_{\text{ГВ}} = 714 \text{ м}$ .

На пятом этапе были определены сооружения, которые входят в состав Кумского гидроузла:

- бетонная водосливная плотина, гравитационная
- бетонная станционная часть;
- гравитационная бетонная правобережная и левобережная глухие части.
- здание ГЭС деривационного типа

Исходя из шестого этапа можно сделать вывод что с точки экономической целесообразности строительство Дебедской ГЭС будет выгодно

и обосновано. Данный вывод может быть сделан на основе следующих расчетных показателей эффективности проекта:

- Индекс прибыльности 1,76;
- себестоимость энергии 0,203 руб./кВт·ч;
- срок окупаемости 13 лет 2 месяца.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмичных районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81. – Введ. 20.05.2011. – Москва: ОАО ЦПП, 2012. – 80 с.[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084534>.
2. Затева, Е. Ю. Выбор параметров ГЭС: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов / А. Ю. Александровский, Е. Ю. Затева, Б. И. Силаев. – Саяногорск: СШФ КГТУ, 2008. – 114 с.
3. Щавелев Д.С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций.[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/120004534534>.
4. Киселев. Справочник по гидравлическим расчетам, 1972. – 155 с.
5. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы серия 1.424.3 – Строительные колонны одноэтажных производственных зданий, оборудованных мостовыми опорными кранами [Электронный ресурс]: введ: 01.05.1985 // Справочная проектировщика «DWG». – Режим доступа: <http://www.dwg.ru>.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для ВУЗов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982.
7. СНиП 2.06.04 – 82 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)/Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 46с.[Электронный ресурс]. - Режим доступа:<http://docs.cntd.ru/document/1200000256>.
8. Гришин М.М. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Ч.1: Учебник для студентов вузов – М.: Высшая школа, 1979. – 615 с.
9. Рассказов Л.Н. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Ч.1: Учебник для студентов вузов – М.: Стройиздат, 1996. – 440 с.
10. СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения . Основные положения/ Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<http://docs.cntd.ru/document/1200035247>.
11. Телешев В.И. Организация, планирование и управление гидротехническим строительством (учебник для ВУЗов) М.: стройиздат, 1989. – 416 с.
12. СНиП 2.06.08-87 – Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]. -Режим доступа:<http://docs.cntd.ru/document/9056424>.
13. Телешев В.И. Бетонные работы в гидротехническом строительстве. Часть I: Теоретические основы требований к технологии бетонных работ (учебное пособие). СПбГТУ, 1992. 108 с.
14. Галузин В.М., Комаринский М.В., Телешев В.И. – Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ (учебное пособие) СПбГТУ, 1995. 80 с.

15. Судаков В.Б., Толкачев Л.А. – Современные методы бетонирования высоких плотин (учебное пособие) М. энергоатомиздат, 1988. 256 с.
16. СНиП IV.06.08-87 – Сборники единых районных единичных расценок на строительные работы –сборник 37 - Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/90568724>.
17. «Методическими рекомендациями по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике», утвержденных приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 07.02.2000г. № 54 на основании Заключения Главгосэкспертизы России от 26.05.1999г. №24-16-1/20-113.
18. «Методическими рекомендациями по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО», Москва, 2008 г., утвержденными РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008г № 155 и Главгосэкспертизой России от 26.05.99г. №24-16-1/20-113.
19. Часть вторая Налогового кодекса Российской Федерации от 5 августа 2000 г. N 117-ФЗ //Текст части второй Налогового кодекса опубликован в "Российской газете" от 10 августа 2000 г. N 153-154.
20. О безопасности гидротехнических сооружений[Электронный ресурс] : федер. закон от 23.12.2003 N 186-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
21. Об экологической экспертизе[Электронный ресурс] : федер. закон от 16.05.2008 N 75-ФЗ // Справочная правовая система «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
22. Технический отчет о состоянии гидротехнических сооружений Красноярской ГЭС в 2017 – 2018 гг. – г. Дивногорск 2018 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Анализ исходных данных

Таблица А.1 – Гидрологический ряд р.Дебед

| Годы | I  | II | III | IV | V   | VI  | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Qcp |
|------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| 1955 | 27 | 39 | 41  | 43 | 55  | 55  | 85  | 72   | 33 | 28 | 26 | 25  | 44  |
| 1956 | 14 | 16 | 46  | 50 | 67  | 103 | 120 | 96   | 35 | 35 | 29 | 14  | 52  |
| 1957 | 22 | 29 | 38  | 38 | 58  | 82  | 113 | 103  | 43 | 32 | 27 | 23  | 50  |
| 1958 | 26 | 30 | 40  | 41 | 80  | 91  | 110 | 93   | 40 | 37 | 32 | 22  | 53  |
| 1959 | 20 | 28 | 34  | 37 | 50  | 88  | 104 | 85   | 26 | 27 | 10 | 10  | 43  |
| 1960 | 13 | 17 | 21  | 31 | 44  | 80  | 98  | 86   | 30 | 27 | 14 | 10  | 39  |
| 1961 | 27 | 29 | 37  | 38 | 50  | 80  | 106 | 88   | 34 | 33 | 32 | 31  | 49  |
| 1962 | 35 | 37 | 38  | 40 | 55  | 82  | 112 | 94   | 35 | 31 | 21 | 16  | 50  |
| 1963 | 25 | 29 | 43  | 49 | 59  | 91  | 106 | 91   | 32 | 31 | 27 | 22  | 50  |
| 1964 | 20 | 29 | 44  | 47 | 54  | 84  | 94  | 88   | 29 | 28 | 26 | 22  | 47  |
| 1965 | 23 | 29 | 37  | 37 | 65  | 67  | 100 | 95   | 34 | 33 | 29 | 25  | 48  |
| 1966 | 27 | 31 | 38  | 36 | 47  | 83  | 109 | 91   | 36 | 30 | 22 | 15  | 47  |
| 1967 | 30 | 49 | 67  | 74 | 137 | 149 | 163 | 101  | 37 | 34 | 29 | 32  | 75  |
| 1968 | 25 | 33 | 37  | 39 | 52  | 71  | 112 | 98   | 32 | 29 | 25 | 11  | 47  |
| 1969 | 26 | 29 | 43  | 49 | 67  | 76  | 114 | 96   | 36 | 31 | 28 | 20  | 51  |
| 1970 | 23 | 29 | 35  | 37 | 101 | 112 | 128 | 92   | 31 | 29 | 18 | 15  | 54  |
| 1971 | 17 | 28 | 35  | 38 | 92  | 94  | 119 | 95   | 36 | 25 | 21 | 17  | 52  |
| 1972 | 29 | 32 | 38  | 44 | 58  | 88  | 100 | 92   | 38 | 37 | 35 | 31  | 52  |
| 1973 | 27 | 30 | 38  | 39 | 59  | 91  | 110 | 98   | 53 | 49 | 38 | 32  | 55  |
| 1974 | 28 | 37 | 39  | 41 | 56  | 79  | 99  | 92   | 38 | 34 | 31 | 28  | 50  |
| 1975 | 31 | 38 | 41  | 50 | 113 | 131 | 136 | 114  | 49 | 40 | 38 | 36  | 68  |
| 1976 | 25 | 29 | 36  | 43 | 68  | 83  | 117 | 99   | 42 | 40 | 37 | 31  | 54  |
| 1977 | 29 | 30 | 37  | 45 | 61  | 71  | 103 | 88   | 37 | 32 | 31 | 21  | 49  |
| 1978 | 10 | 17 | 35  | 43 | 83  | 109 | 147 | 94   | 43 | 36 | 27 | 24  | 56  |
| 1979 | 22 | 29 | 37  | 38 | 104 | 137 | 141 | 94   | 48 | 40 | 38 | 30  | 63  |
| 1980 | 7  | 17 | 24  | 25 | 71  | 68  | 110 | 89   | 32 | 29 | 28 | 20  | 43  |
| 1981 | 26 | 29 | 39  | 45 | 113 | 115 | 129 | 97   | 35 | 34 | 33 | 26  | 60  |
| 1982 | 23 | 28 | 44  | 49 | 65  | 95  | 115 | 97   | 54 | 38 | 32 | 28  | 56  |
| 1983 | 27 | 30 | 37  | 38 | 102 | 109 | 110 | 93   | 51 | 35 | 29 | 15  | 57  |
| 1984 | 28 | 34 | 43  | 47 | 97  | 119 | 124 | 101  | 38 | 32 | 29 | 26  | 60  |
| 1985 | 33 | 46 | 49  | 71 | 139 | 140 | 159 | 110  | 56 | 47 | 38 | 38  | 77  |
| 1986 | 34 | 36 | 38  | 68 | 119 | 123 | 145 | 120  | 62 | 56 | 42 | 32  | 73  |
| 1987 | 37 | 40 | 46  | 55 | 101 | 86  | 119 | 102  | 44 | 42 | 37 | 36  | 62  |
| 1988 | 21 | 32 | 41  | 57 | 96  | 113 | 116 | 96   | 49 | 40 | 37 | 33  | 61  |
| 1989 | 32 | 40 | 43  | 54 | 94  | 95  | 112 | 94   | 35 | 30 | 23 | 19  | 56  |
| 1990 | 31 | 31 | 39  | 45 | 74  | 88  | 117 | 95   | 39 | 34 | 31 | 31  | 55  |
| 1991 | 29 | 30 | 34  | 35 | 51  | 79  | 121 | 99   | 38 | 32 | 31 | 26  | 50  |
| 1992 | 26 | 29 | 37  | 55 | 105 | 114 | 166 | 94   | 35 | 28 | 28 | 23  | 62  |
| 1993 | 23 | 29 | 37  | 44 | 77  | 79  | 101 | 85   | 31 | 28 | 20 | 9   | 47  |
| 1994 | 26 | 30 | 39  | 50 | 88  | 94  | 117 | 98   | 37 | 37 | 29 | 31  | 56  |

## Окончание приложения А

### Окончание таблицы А.1

| Годы | I  | II | III | IV | V   | VI  | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Qcp |
|------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| 1995 | 26 | 29 | 37  | 44 | 65  | 72  | 96  | 94   | 30 | 29 | 28 | 20  | 48  |
| 1996 | 27 | 35 | 37  | 51 | 65  | 78  | 109 | 97   | 46 | 35 | 32 | 29  | 53  |
| 1997 | 26 | 30 | 38  | 52 | 60  | 99  | 104 | 94   | 35 | 32 | 31 | 23  | 52  |
| 1998 | 26 | 28 | 29  | 51 | 80  | 76  | 112 | 95   | 40 | 34 | 31 | 19  | 52  |
| 1999 | 25 | 34 | 37  | 38 | 47  | 61  | 110 | 96   | 37 | 29 | 28 | 13  | 45  |
| 2000 | 26 | 29 | 30  | 35 | 97  | 103 | 106 | 87   | 32 | 28 | 19 | 16  | 51  |
| 2001 | 26 | 32 | 39  | 39 | 89  | 91  | 107 | 104  | 40 | 28 | 27 | 24  | 54  |
| 2002 | 35 | 35 | 41  | 49 | 113 | 118 | 123 | 96   | 46 | 43 | 38 | 25  | 63  |
| 2003 | 33 | 31 | 40  | 59 | 76  | 85  | 116 | 109  | 43 | 46 | 40 | 32  | 59  |
| 2004 | 27 | 35 | 47  | 49 | 57  | 71  | 119 | 103  | 43 | 32 | 31 | 30  | 54  |
| Qcp  | 26 | 31 | 39  | 45 | 78  | 93  | 116 | 95   | 39 | 34 | 29 | 24  | 54  |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Водно-энергетические расчёты

Таблица Б.1 – Средние расходы за год в маловодный период и период половодья

| Годы | Q, ср.<br>год | Годы | Q ср.<br>пол. | Годы | Q ср.<br>меж | P, % |
|------|---------------|------|---------------|------|--------------|------|
| 1985 | 77            | 1967 | 138           | 1985 | 47           | 2    |
| 1967 | 75            | 1985 | 137           | 1986 | 46           | 4    |
| 1986 | 73            | 1986 | 127           | 1967 | 44           | 6    |
| 1975 | 68            | 1975 | 124           | 1987 | 42           | 8    |
| 2002 | 64            | 1992 | 120           | 1975 | 40           | 10   |
| 1979 | 63            | 1979 | 119           | 2003 | 40           | 12   |
| 1987 | 62            | 1981 | 113           | 2002 | 39           | 14   |
| 1992 | 62            | 2002 | 113           | 1988 | 39           | 16   |
| 1988 | 61            | 1984 | 110           | 1973 | 38           | 18   |
| 1981 | 60            | 1970 | 108           | 1982 | 37           | 20   |
| 1984 | 59            | 1978 | 108           | 2004 | 37           | 22   |
| 2003 | 59            | 1988 | 106           | 1996 | 36           | 24   |
| 1983 | 56            | 1983 | 104           | 1972 | 35           | 25   |
| 1994 | 56            | 1987 | 102           | 1976 | 35           | 27   |
| 1989 | 56            | 1971 | 100           | 1979 | 35           | 29   |
| 1982 | 56            | 1994 | 99            | 1990 | 35           | 31   |
| 1978 | 56            | 1989 | 99            | 1994 | 35           | 33   |
| 1973 | 55            | 2000 | 98            | 1989 | 35           | 35   |
| 1990 | 55            | 2001 | 98            | 1984 | 34           | 37   |
| 1976 | 54            | 2003 | 97            | 1974 | 34           | 39   |
| 1970 | 54            | 1956 | 97            | 1981 | 34           | 41   |
| 2001 | 54            | 1990 | 94            | 1997 | 34           | 43   |
| 2004 | 53            | 1958 | 94            | 1958 | 33           | 45   |
| 1958 | 53            | 1982 | 93            | 1983 | 33           | 47   |
| 1996 | 53            | 1976 | 92            | 1969 | 33           | 49   |
| 1956 | 52            | 1998 | 91            | 1955 | 33           | 51   |
| 1997 | 52            | 1973 | 89            | 1961 | 33           | 53   |
| 1972 | 52            | 1997 | 89            | 1977 | 33           | 55   |
| 1998 | 52            | 1957 | 89            | 1992 | 32           | 57   |
| 1971 | 52            | 1969 | 88            | 1963 | 32           | 59   |
| 1969 | 52            | 2004 | 88            | 1998 | 32           | 61   |
| 2000 | 50            | 1991 | 88            | 1991 | 32           | 63   |
| 1957 | 50            | 1996 | 87            | 2001 | 32           | 65   |
| 1963 | 50            | 1963 | 86            | 1962 | 32           | 67   |
| 1991 | 50            | 1962 | 86            | 1957 | 31           | 69   |
| 1974 | 50            | 1993 | 86            | 1965 | 31           | 71   |
| 1962 | 50            | 1980 | 85            | 1964 | 31           | 73   |
| 1961 | 49            | 1972 | 85            | 1995 | 31           | 75   |
| 1977 | 49            | 1968 | 83            | 1956 | 30           | 76   |



Продолжение приложения Б

Окончание таблицы Б.1

| Годы | Q, ср.<br>год | Годы | Q ср.<br>пол. | Годы | Q ср.<br>меж | P, % |
|------|---------------|------|---------------|------|--------------|------|
| 1965 | 48            | 1966 | 83            | 1999 | 30           | 78   |
| 1995 | 47            | 1959 | 82            | 1966 | 29           | 80   |
| 1964 | 47            | 1995 | 82            | 1968 | 29           | 84   |
| 1968 | 47            | 1974 | 82            | 1993 | 28           | 86   |
| 1993 | 47            | 1961 | 81            | 1971 | 27           | 88   |
| 1999 | 45            | 1977 | 80            | 1970 | 27           | 90   |
| 1955 | 44            | 1964 | 80            | 2000 | 27           | 92   |
| 1980 | 43            | 1999 | 79            | 1959 | 24           | 94   |
| 1959 | 43            | 1960 | 77            | 1980 | 23           | 96   |
| 1960 | 39            | 1955 | 67            | 1960 | 20           | 98   |

Таблица Б.2 – Координаты для построения ИКН зимних суток

| t, ч | P ранж, МВт | ΔP, МВт | ΔЭ, кВт·ч | P кор, МВт | Э кор, млн. кВт·ч |
|------|-------------|---------|-----------|------------|-------------------|
| 1    | 569         | 5       | 0,005     | 5          | 0,005             |
| 2    | 563         | 18      | 0,037     | 24         | 0,042             |
| 3    | 545         | 2       | 0,007     | 26         | 0,049             |
| 4    | 543         | 11      | 0,042     | 37         | 0,091             |
| 5    | 532         | 4       | 0,020     | 40         | 0,111             |
| 6    | 528         | 4       | 0,025     | 45         | 0,136             |
| 7    | 524         | 2       | 0,016     | 47         | 0,152             |
| 8    | 522         | 1       | 0,006     | 48         | 0,158             |
| 9    | 521         | 2       | 0,015     | 49         | 0,173             |
| 10   | 519         | 0       | 0,004     | 50         | 0,177             |
| 11   | 519         | 3       | 0,028     | 52         | 0,205             |
| 12   | 516         | 5       | 0,064     | 58         | 0,269             |
| 13   | 511         | 0       | 0,006     | 58         | 0,275             |
| 14   | 511         | 18      | 0,249     | 76         | 0,524             |
| 15   | 493         | 5       | 0,073     | 81         | 0,597             |
| 16   | 488         | 26      | 0,422     | 107        | 1,019             |
| 17   | 462         | 8       | 0,134     | 115        | 1,154             |
| 18   | 454         | 3       | 0,060     | 118        | 1,214             |
| 19   | 450         | 21      | 0,403     | 140        | 1,617             |
| 20   | 429         | 5       | 0,102     | 145        | 1,719             |
| 21   | 424         | 10      | 0,209     | 155        | 1,928             |
| 22   | 414         | 4       | 0,091     | 159        | 2,019             |
| 23   | 410         | 0       | 0,001     | 159        | 2,020             |
| 24   | 410         | 410     | 9,837     | 569        | 11,857            |

Р<sub>ср.зим</sub>=1916

Продолжение приложения Б

Таблица Б.3 – Координаты для построения ИКН летних суток

| t, ч | P ранж, МВт | ΔP, МВт | ΔЭ, кВт·ч | P кор, МВт | Э кор, млн. кВт·ч |
|------|-------------|---------|-----------|------------|-------------------|
| 1    | 494         | 19      | 0,019     | 19         | 0,019             |
| 2    | 474         | 12      | 0,025     | 32         | 0,0               |
| 3    | 462         | 0       | 0,001     | 32         | 0,0               |
| 4    | 461         | 1       | 0,002     | 33         | 0,0               |
| 5    | 461         | 0       | 0,001     | 33         | 0,0               |
| 6    | 461         | 1       | 0,008     | 34         | 0,1               |
| 7    | 459         | 2       | 0,012     | 36         | 0,1               |
| 8    | 458         | 1       | 0,009     | 37         | 0,1               |
| 9    | 456         | 3       | 0,027     | 40         | 0,1               |
| 10   | 453         | 4       | 0,036     | 44         | 0,1               |
| 11   | 450         | 17      | 0,185     | 61         | 0,3               |
| 12   | 433         | 2       | 0,028     | 63         | 0,4               |
| 13   | 431         | 5       | 0,066     | 68         | 0,4               |
| 14   | 426         | 28      | 0,393     | 96         | 0,8               |
| 15   | 398         | 12      | 0,180     | 108        | 1,0               |
| 16   | 386         | 1       | 0,014     | 109        | 1,0               |
| 17   | 385         | 24      | 0,404     | 133        | 1,4               |
| 18   | 361         | 3       | 0,051     | 136        | 1,5               |
| 19   | 358         | 16      | 0,302     | 151        | 1,8               |
| 20   | 342         | 8       | 0,167     | 160        | 1,9               |
| 21   | 334         | 15      | 0,320     | 175        | 2,3               |
| 22   | 319         | 4       | 0,085     | 179        | 2,3               |
| 23   | 315         | 12      | 0,275     | 191        | 2,6               |
| 24   | 303         | 303     | 7,266     | 494        | 9,9               |

Рср.лето=1391

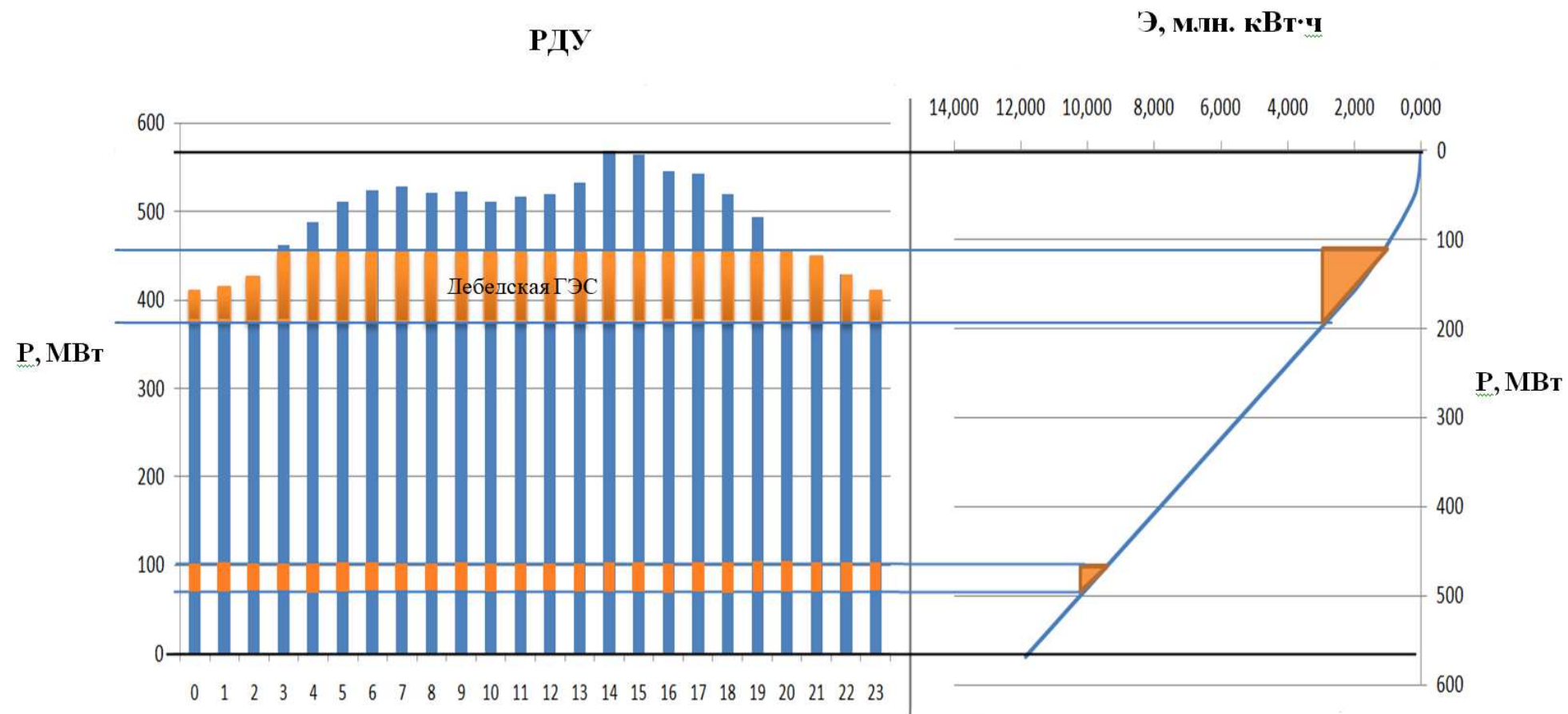


Рисунок Б.1 – ИКН зимних суток:  
 Оранжевый – проектируемая Дебедская ГЭС с рабочей мощностью 125 МВт, выработкой 2,7 млн кВт · ч.

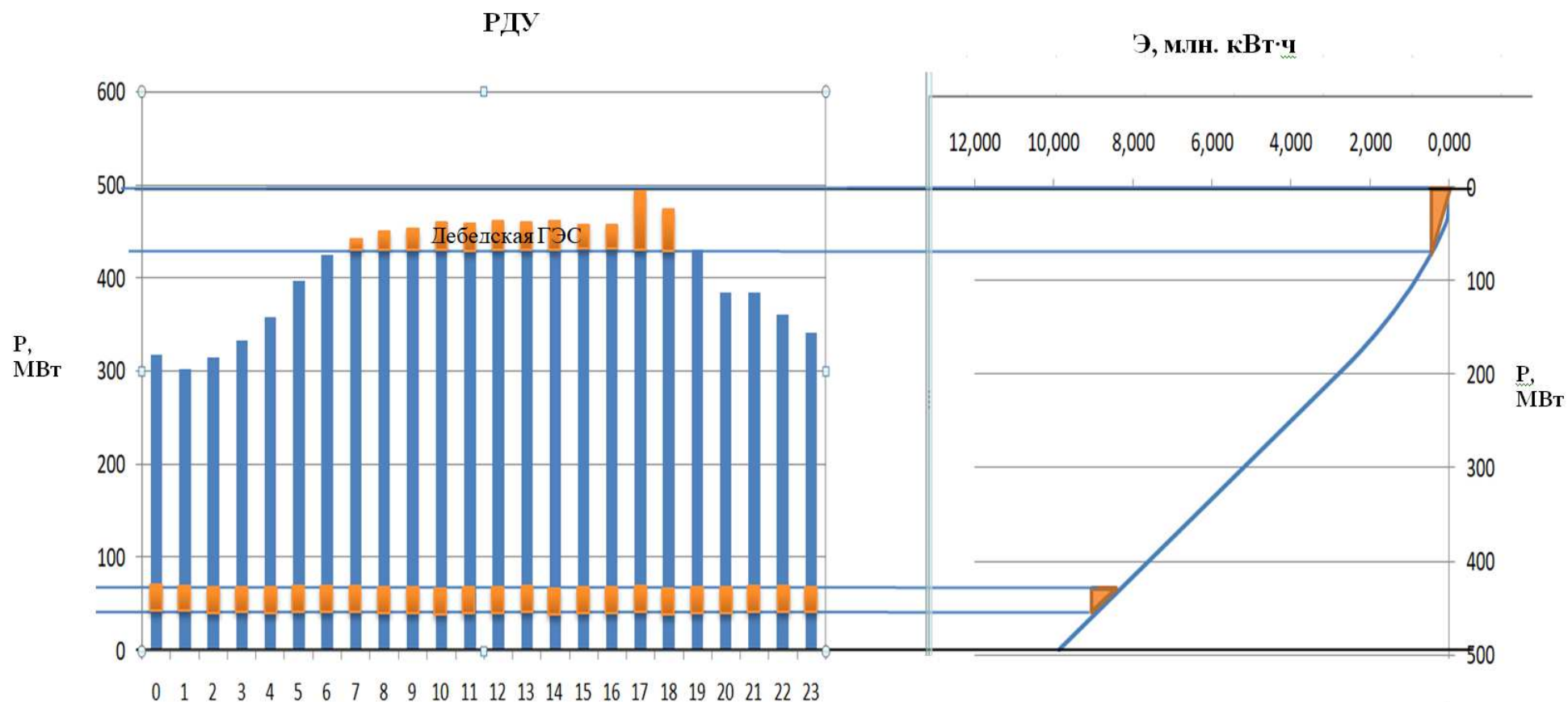


Рисунок Б.2 – ИКН летних суток:  
 Оранжевый –проектируемая Дебедская ГЭС с рабочей мощностью 79 МВт, выработкой 1,2 млн кВт · ч.

Продолжение приложения Б

Таблица Б.4 – Режим работы без регулирования с учетом ВХК

| Месяц                                     | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| $Q_{i^{np90\%}}, \text{ м}^3/\text{с}$    | 22  | 31  | 33  | 34  | 49  | 62  | 113 | 98   | 33  | 26  | 25  | 11  |
| $Q_{ВХК}, \text{ м}^3/\text{с}$           | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30   | 30  | 30  | 30  | 30  |
| $Q_{исп}, \text{ м}^3/\text{с}$           | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 1,1 | 1    | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |
| $Q_{лед}, \text{ м}^3/\text{с}$           | 9   | 9   | 0   | -13 | -22 | 0   | 0   | 0    | 0   | 0   | 9   | 9   |
| $Q_{фильтр}, \text{ м}^3/\text{с}$        | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,7 | 1,5  | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| $Q_{рыб}, \text{ м}^3/\text{с}$           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   |
| $\Sigma Q_{потерь}, \text{ м}^3/\text{с}$ | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,4 | 1,8 | 3,2 | 2,8  | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,3 |
| $Q_{пол.быт.}, \text{ м}^3/\text{с}$      | 22  | 31  | 33  | 34  | 49  | 62  | 113 | 98   | 33  | 26  | 25  | 11  |
| $Z_{нб}, \text{ м}$                       | 501 | 502 | 502 | 502 | 502 | 503 | 503 | 503  | 502 | 501 | 501 | 501 |
| $Z_{вб}, \text{ м}$                       | 710 | 710 | 710 | 710 | 710 | 710 | 710 | 710  | 710 | 710 | 710 | 710 |
| $H_{пол.}, \text{ м}$                     | 209 | 208 | 208 | 208 | 208 | 207 | 206 | 206  | 208 | 208 | 208 | 209 |
| $N_{быт.}, \text{ МВт}$                   | 40  | 55  | 59  | 61  | 86  | 110 | 199 | 174  | 59  | 47  | 45  | 20  |
| $N_{вхк.}, \text{ МВт}$                   | 55  | 55  | 55  | 55  | 55  | 55  | 54  | 55   | 55  | 55  | 55  | 55  |
| $N_{водот} - N_{вхк.}, \text{ МВт}$       | -15 | 0   | 4   | 6   | 31  | 55  | 144 | 119  | 4   | -8  | -10 | -35 |

Продолжение приложения Б

Таблица Б.5 – Режим работы, проектируемой ГЭС в маловодном году (окончательный)

| Месяц | Расходы                          |                                      |                                  |                                |                                  |                                  |                                  |                                  |                                |                                 | Объемы в-ща                 |                               |                             | Отметки ВБ     |                |                 | $Z_{НБ},$<br>м | $H_{гэс},$<br>м | $N_{гэс},$<br>МВт | $N_{гэп},$<br>МВт |
|-------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|       | $Q_{быг.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{пол.быг.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{исп.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{ф.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{в-ща},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{лед.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{рыб.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{гэс.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{НБ},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{ВХК},$<br>м <sup>3</sup> /с | $V_{Н'},$<br>м <sup>3</sup> | $\Delta V,$<br>м <sup>3</sup> | $V_{К'},$<br>м <sup>3</sup> | $Z_{Н'},$<br>м | $Z_{К'},$<br>м | $Z_{ср.},$<br>м |                |                 |                   |                   |
| 9     | 33                               | 0,33                                 | 0,50                             | 0                              | 0                                | 32                               | 36                               | 30                               | 4                              | 36                              | 1,6                         | 0,0                           | 1,6                         | 710,00         | 709,95         | 709,97          | 501,82         | 208,0           | 65                | 65                |
| 10    | 26                               | 0,26                                 | 0,39                             | 0                              | 0                                | 25                               | 49                               | 30                               | 23                             | 48                              | 1,6                         | 0,1                           | 1,6                         | 709,95         | 709,12         | 709,54          | 502,28         | 207,1           | 88                | 88                |
| 11    | 25                               | 0,25                                 | 0,37                             | 0                              | 0                                | 24                               | 58                               | 30                               | 33                             | 57                              | 1,6                         | 0,1                           | 1,5                         | 709,12         | 707,82         | 708,47          | 502,56         | 205,8           | 104               | 104               |
| 12    | 11                               | 0,11                                 | 0,17                             | 0                              | 0                                | 11                               | 64                               | 30                               | 53                             | 64                              | 1,5                         | 0,1                           | 1,3                         | 707,82         | 705,25         | 706,53          | 502,72         | 203,7           | 114               | 114               |
| 1     | 22                               | 0,22                                 | 0,33                             | 0                              | 0                                | 22                               | 65                               | 30                               | 43                             | 65                              | 1,3                         | 0,1                           | 1,2                         | 705,25         | 702,53         | 703,89          | 502,75         | 201             | 114               | 114               |
| 2     | 31                               | 0,31                                 | 0,46                             | 0                              | 0                                | 30                               | 60                               | 30                               | 30                             | 60                              | 1,2                         | 0,1                           | 1,1                         | 702,53         | 700,26         | 701,39          | 502,62         | 198,6           | 104               | 104               |
| 3     | 33                               | 0,33                                 | 0,50                             | 0                              | 0                                | 32                               | 51                               | 30                               | 19                             | 51                              | 1,1                         | 0,0                           | 1,1                         | 700,26         | 698,67         | 699,46          | 502,36         | 197             | 88                | 88                |
| 4     | 34                               | 0,34                                 | 0,51                             | 0                              | 0                                | 33                               | 30                               | 30                               | -4                             | 29                              | 1,1                         | 0,0                           | 1,11                        | 698,67         | 699,02         | 698,85          | 501,56         | 197,1           | 51                | ВХК               |
| 5     | 49                               | 0,49                                 | 0,73                             | 0                              | 0                                | 47                               | 30                               | 30                               | -18                            | 29                              | 1,1                         | 0,0                           | 1,2                         | 699,02         | 700,55         | 699,79          | 501,57         | 198,1           | 51                | ВХК               |
| 6     | 62                               | 0,62                                 | 0,93                             | 0                              | 0                                | 61                               | 30                               | 30                               | -31                            | 29                              | 1,2                         | -0,1                          | 1,2                         | 700,55         | 702,88         | 701,71          | 501,59         | 200             | 52                | ВХК               |
| 7     | 113                              | 1,13                                 | 1,69                             | 0                              | 0                                | 110                              | 30                               | 30                               | -81                            | 29                              | 1,2                         | -0,2                          | 1,4                         | 702,88         | 707,40         | 705,14          | 501,58         | 203,4           | 51                | ВХК               |
| 8     | 98                               | 0,98                                 | 1,48                             | 0                              | 0                                | 96                               | 30                               | 30                               | -67                            | 29                              | 1,4                         | -0,2                          | 1,6                         | 707,40         | 710,00         | 708,70          | 501,58         | 207             | 53                | ВХК               |

Продолжение приложения Б

Таблица Б.6– Сводная таблица рабочих мощностей существующей и проектируемой ГЭС

| Месяц | Проектируемая ГЭС         |                                      |                                    |                                    |                         |                         |                           |
|-------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
|       | N <sub>раб</sub> ,<br>МВт | Э <sub>сут</sub> ,<br>млн кВт ·<br>ч | Э <sub>б</sub> ,<br>млн кВт ·<br>ч | Э <sub>п</sub> ,<br>млн кВт ·<br>ч | N <sub>б</sub> ,<br>МВт | N <sub>п</sub> ,<br>МВт | N <sub>раб</sub> ,<br>МВт |
| 1     | 116                       | 2,7                                  | 0,7                                | 2                                  | 28                      | 97                      | 125                       |
| 2     | 104                       | 2,5                                  | 0,7                                | 1,8                                | 28                      | 88                      | 116                       |
| 3     | 87                        | 2,1                                  | 0,7                                | 1,4                                | 28                      | 70                      | 98                        |
| 4     | 51                        | 1,2                                  | 0,7                                | 0,6                                | 28                      | 51                      | 79                        |
| 5     | 51                        | 1,2                                  | 0,7                                | 0,6                                | 28                      | 50                      | 78                        |
| 6     | 51                        | 1,2                                  | 0,7                                | 0,6                                | 28                      | 51                      | 79                        |
| 7     | 53                        | 1,3                                  | 0,7                                | 0,6                                | 28                      | 51                      | 79                        |
| 8     | 54                        | 1,3                                  | 0,7                                | 0,6                                | 28                      | 50                      | 78                        |
| 9     | 64                        | 1,5                                  | 0,7                                | 0,9                                | 28                      | 51                      | 79                        |
| 10    | 87                        | 2,1                                  | 0,7                                | 1,4                                | 28                      | 67                      | 95                        |
| 11    | 104                       | 2,5                                  | 0,7                                | 1,8                                | 28                      | 77                      | 105                       |
| 12    | 116                       | 2,7                                  | 0,7                                | 2                                  | 28                      | 85                      | 113                       |

Таблица Б.7 –Баланс мощности энергосистемы в маловодном году

| Месяц | Нагрузка системы |                           |                            | Проектируемая ГЭС         |                            |                           | ГЭС                       |                           |                           |
|-------|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|       | P,<br>МВт        | P <sub>авр</sub> ,<br>МВт | P <sub>нагр</sub> ,<br>МВт | N <sub>раб</sub> ,<br>МВт | N <sub>нагр</sub> ,<br>МВт | N <sub>рем</sub> ,<br>МВт | N <sub>раб</sub> ,<br>МВт | N <sub>авр</sub> ,<br>МВт | N <sub>рем</sub> ,<br>МВт |
| I     | 567              | 57                        | 17                         | 125                       | 17                         |                           | 442                       | 58                        |                           |
| II    | 558              | 56                        | 17                         | 115                       | 17                         |                           | 443                       | 57                        |                           |
| III   | 541              | 54                        | 16                         | 98                        | 16                         |                           | 443                       | 55                        |                           |
| IV    | 521              | 52                        | 16                         | 79                        | 16                         |                           | 442                       | 53                        |                           |
| V     | 505              | 50                        | 15                         | 78                        | 15                         |                           | 427                       | 51                        | 13                        |
| VI    | 495              | 49                        | 15                         | 79                        | 15                         |                           | 416                       | 50                        | 24                        |
| VII   | 495              | 49                        | 15                         | 79                        | 15                         |                           | 416                       | 50                        | 24                        |
| VIII  | 505              | 50                        | 15                         | 78                        | 15                         |                           | 427                       | 51                        | 13                        |
| IX    | 521              | 52                        | 16                         | 79                        | 16                         | 24                        | 443                       | 53                        |                           |
| X     | 541              | 54                        | 16                         | 98                        | 16                         |                           | 443                       | 55                        |                           |
| XI    | 558              | 56                        | 17                         | 115                       | 17                         |                           | 443                       | 57                        |                           |
| XII   | 567              | 57                        | 17                         | 125                       | 17                         |                           | 442                       | 58                        |                           |

Окончание приложения Б

Таблица Б.8– Режим работы, проектируемой ГЭС в средневодном году

| Месяц | Расходы                          |                                      |                                  |                                |                                  |                                  |                                  |                                  |                                 |                                  | Объемы в-ща                 |                                |                             | Отметки ВБ     |                |                 | $Z_{НБ},$<br>м | $H_{гэс},$<br>м | $N_{гэс},$<br>МВт | $N_{гар},$<br>МВт |
|-------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|       | $Q_{быт.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{под.быт.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{исп.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{ф.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{в-ца},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{лед.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{рыб.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{гэс.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{нб.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{вхк.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $V_{н.},$<br>м <sup>3</sup> | $\Delta V',$<br>м <sup>3</sup> | $V_{к.},$<br>м <sup>3</sup> | $Z_{н.},$<br>м | $Z_{к.},$<br>м | $Z_{ср.},$<br>м |                |                 |                   |                   |
| 9     | 42                               | 41                                   | 0,4                              | 0,6                            | 2                                | 0                                | 0                                | 43                               | 44                              | 30                               | 0                           | 1,6                            | 0,0                         | 1,6            | 710,00         | 710,00          | 710,00         | 502,10          | 207,75            | 79                |
| 10    | 32                               | 31                                   | 0,3                              | 0,5                            | 20                               | 0                                | 0                                | 51                               | 52                              | 30                               | 0                           | 1,6                            | 0,1                         | 1,6            | 710,00         | 709,29          | 709,65         | 502,37          | 207,12            | 93                |
| 11    | 28                               | 27                                   | 0,3                              | 0,4                            | 36                               | 0                                | 0                                | 63                               | 64                              | 30                               | 0                           | 1,6                            | 0,1                         | 1,5            | 709,29         | 707,88          | 708,58         | 502,72          | 205,71            | 115               |
| 12    | 27                               | 26                                   | 0,3                              | 0,4                            | 44                               | 0                                | 0                                | 70                               | 71                              | 30                               | 0                           | 1,5                            | 0,1                         | 1,4            | 707,88         | 705,80          | 706,84         | 502,89          | 203,80            | 126               |
| 1     | 24                               | 23                                   | 0,2                              | 0,4                            | 47                               | 0                                | 0                                | 70                               | 71                              | 30                               | 0                           | 1,4                            | 0,1                         | 1,2            | 705,80         | 702,95          | 704,37         | 502,89          | 201,33            | 125               |
| 2     | 32                               | 31                                   | 0,3                              | 0,5                            | 34                               | 0                                | 0                                | 65                               | 66                              | 30                               | 0                           | 1,2                            | 0,1                         | 1,1            | 702,95         | 700,38          | 701,66         | 502,77          | 198,74            | 114               |
| 3     | 34                               | 33                                   | 0,3                              | 0,5                            | 20                               | 0                                | 0                                | 53                               | 54                              | 30                               | 0                           | 1,1                            | 0,1                         | 1,1            | 700,38         | 698,67          | 699,53         | 502,43          | 196,94            | 92                |
| 4     | 46                               | 45                                   | 0,5                              | 0,7                            | -16                              | 0                                | 0                                | 29                               | 30                              | 30                               | 0                           | 1,1                            | 0,0                         | 1,14           | 698,67         | 700,05          | 699,36         | 501,54          | 197,67            | 50                |
| 5     | 68                               | 66                                   | 0,7                              | 1,0                            | -37                              | 0                                | 0                                | 29                               | 30                              | 30                               | 0                           | 1,1                            | -0,1                        | 1,2            | 700,05         | 702,88          | 701,46         | 501,58          | 199,74            | 51                |
| 6     | 82                               | 80                                   | 0,8                              | 1,2                            | -51                              | 0                                | 0                                | 29                               | 30                              | 30                               | 0                           | 1,2                            | -0,1                        | 1,4            | 702,88         | 705,96          | 704,42         | 501,57          | 202,69            | 52                |
| 7     | 114                              | 111                                  | 1,1                              | 1,7                            | -65                              | 0                                | 0                                | 46                               | 30                              | 30                               | -18                         | 1,4                            | -0,2                        | 1,5            | 705,96         | 708,84          | 707,40         | 501,56          | 205,69            | 84                |
| 8     | 102                              | 99                                   | 1,0                              | 1,5                            | -32                              | 0                                | 0                                | 67                               | 30                              | 30                               | -39                         | 1,5                            | -0,1                        | 1,6            | 708,84         | 710,00          | 709,42         | 501,56          | 207,71            | 123               |

По данным расчёта получили среднемноголетнюю выработку, равную:  $\sum \mathcal{E} = 806$  млн. кВт · ч.



# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Основное и вспомогательное оборудование ГЭС

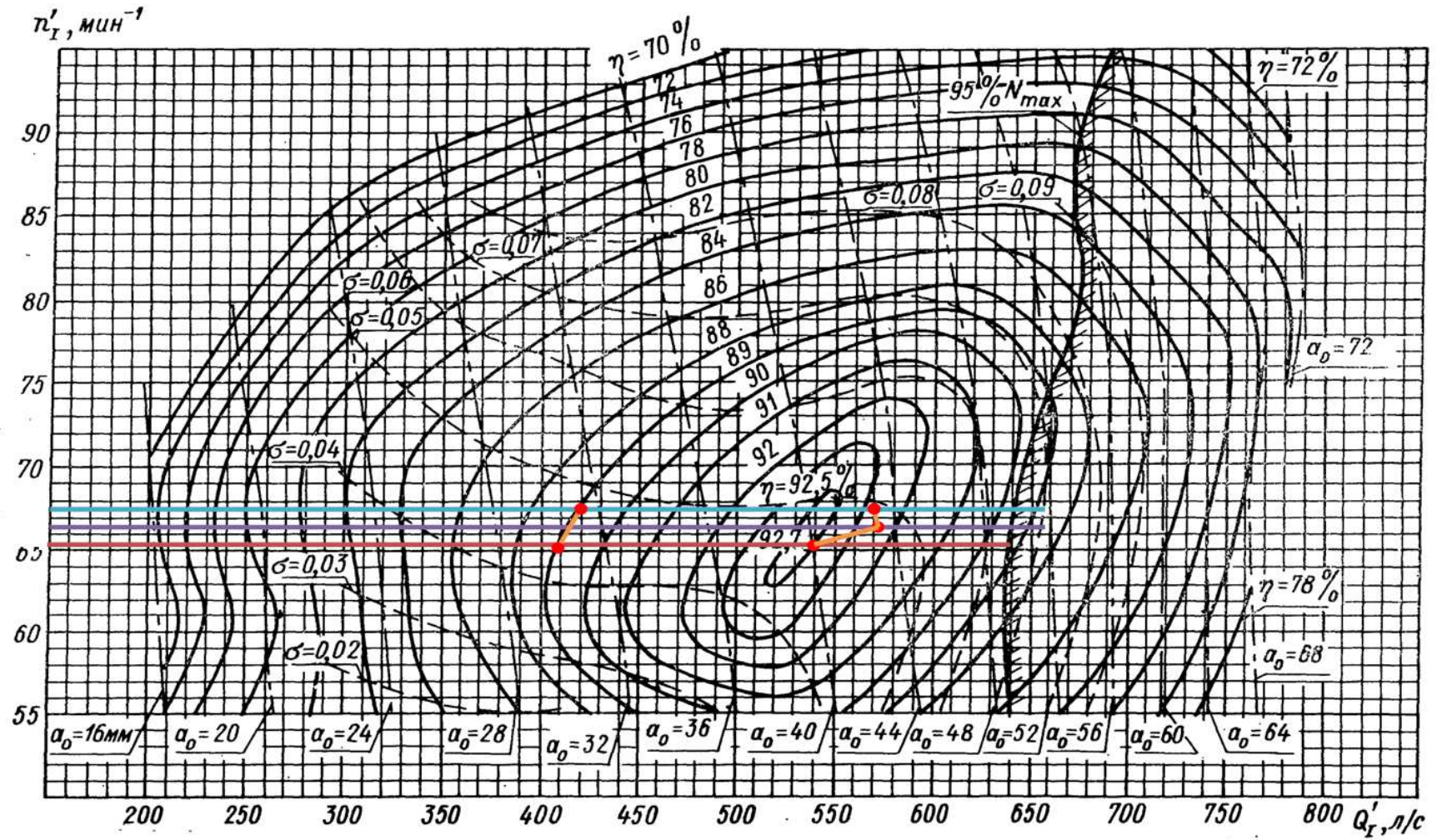


Рисунок В.1 – Универсальная характеристика турбины РО 230а-В-224

Продолжение приложения В

Таблица В.1 – Номинальные данные гидрогенератора СВ-1130/140-48ТС4

| Наименование величины         | Обозначение               | Значение |
|-------------------------------|---------------------------|----------|
| Номинальная полная мощность   | $S_{\text{НОМ}}$ , МВА    | 94       |
| Номинальная активная мощность | $P_{\text{НОМ}}$ , МВт    | 80       |
| Коэффициент мощности          | $\cos\varphi$ , о. е.     | 0,85     |
| Номинальное напряжение        | $U_{\text{НОМ}}$ , кВ     | 13,8     |
| Номинальный ток               | $I_{\text{НОМ}}$ , кА     |          |
| Номинальная частота вращения  | $n_{\text{НОМ}}$ , об/мин | 428,6    |
| Сопротивление обмотки статора | $X_d$ , о. е.             | 1,3      |
| Переходное сопротивление      | $X'_d$ , о. е.            | 0,3      |
| Сверхпереходное сопротивление | $X''_d$ , о. е.           | 0,18     |

Проточная часть модели гидротурбины РО 230.791д-В-62,5 (к универсальной характеристике № 2518 ЛМЗ)

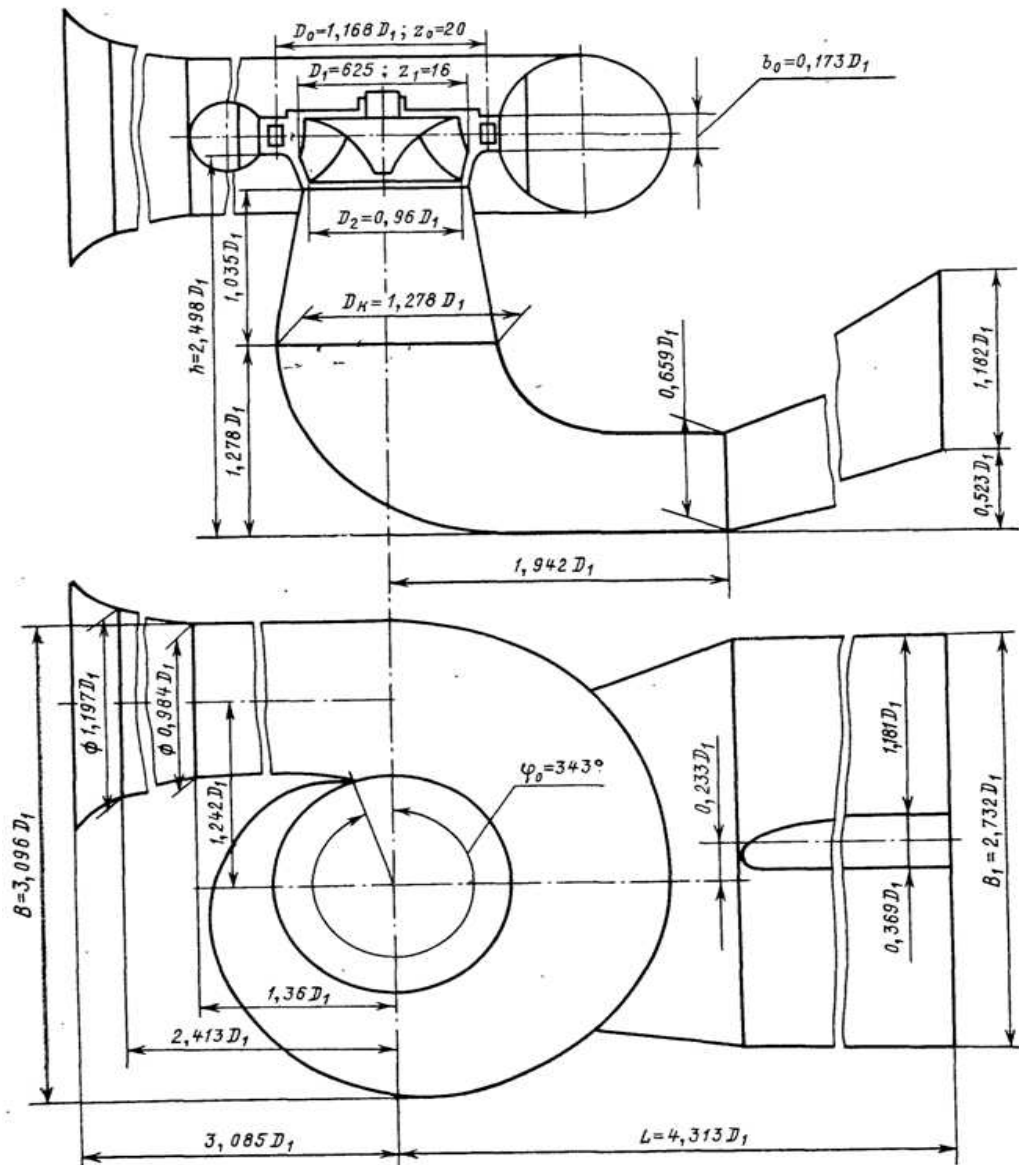


Рисунок В.2 – Проточная часть гидротурбины РО 230

Окончание приложения В

Таблица В.2 – Расчет металлической СК

| Величина  | Значение |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\varphi$ | 148      | 133  | 118  | 103  | 88   | 73   | 58   | 43   |
| $p_1$     | 0,76     | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 |
| $R$       | 3,0      | 2,9  | 2,8  | 2,7  | 2,6  | 2,5  | 2,3  | 2,2  |
| $p_2$     | 0,92     | 0,84 | 0,73 | 0,64 | 0,53 | 0,40 | 0,24 | 0,11 |

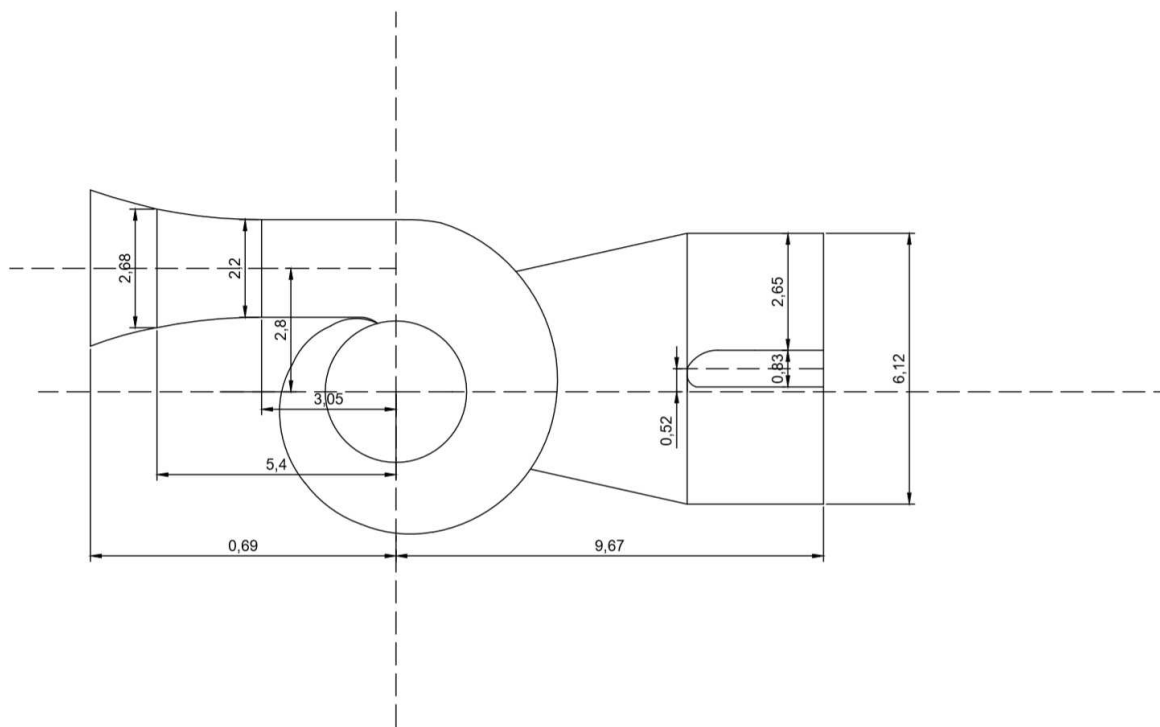


Рисунок В.3 – Схема спиральной камеры Дебедской ГЭС

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Компоновка и сооружения гидроузла

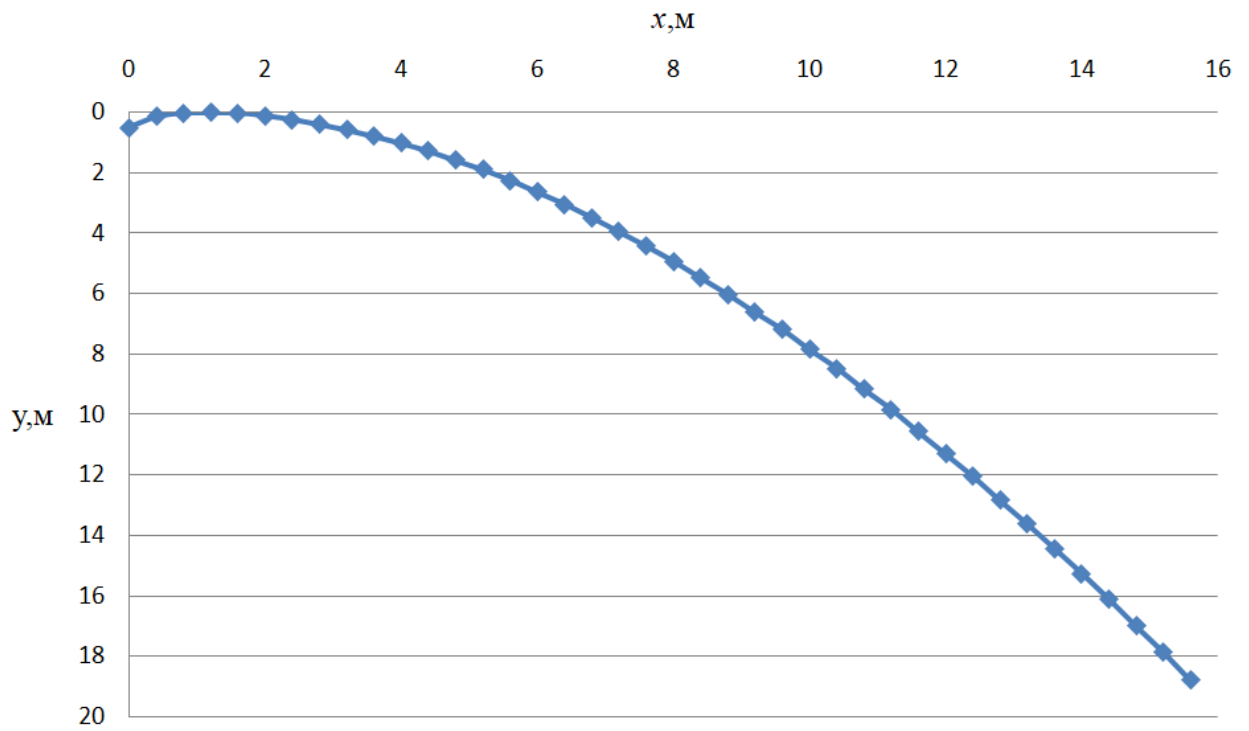


Рисунок Г.1 – Оголовок водосливной плотины

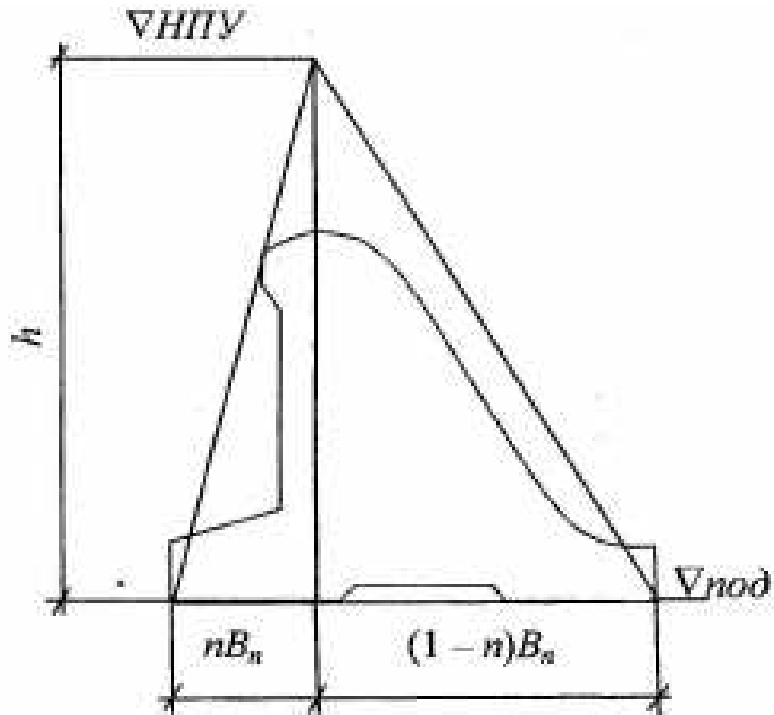


Рисунок Г.2 – Схема треугольного профиля плотины

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Оценка экономических показателей

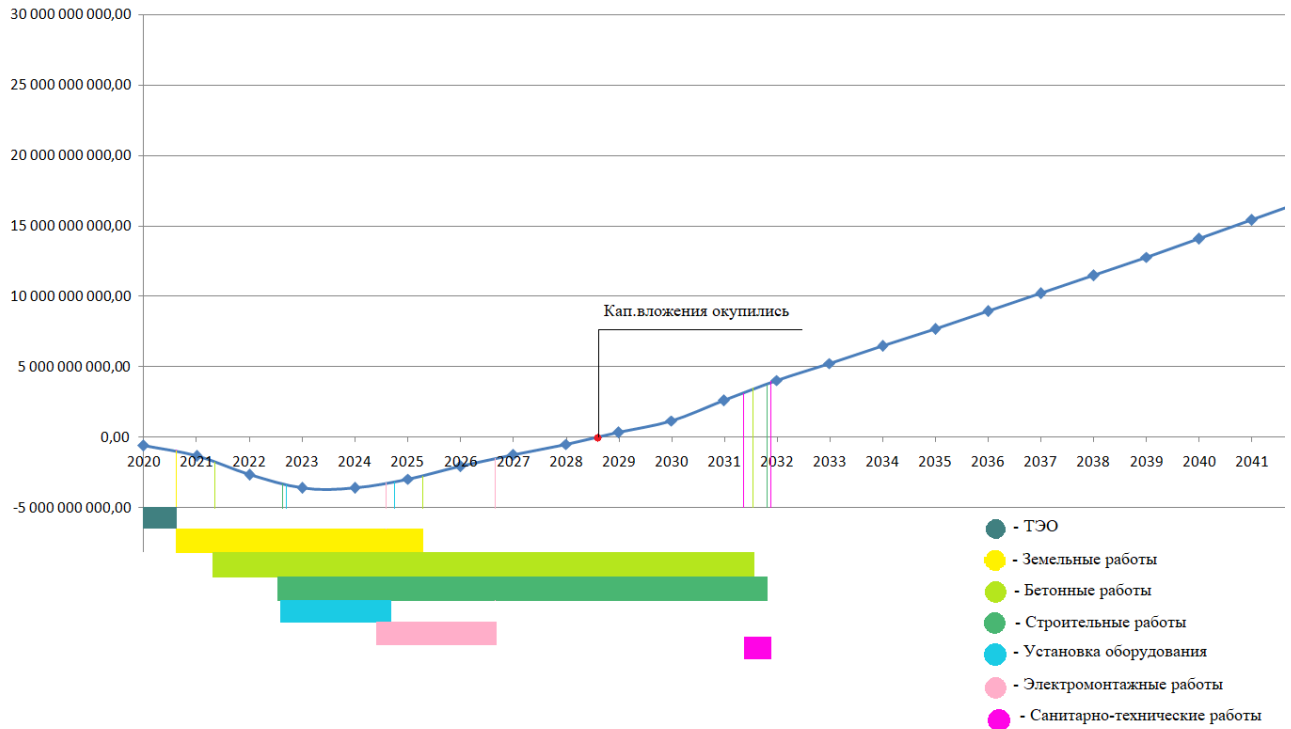


Рисунок Д.1 – Изменение денежных потоков с указанием укрупненных этапов реализации проекта

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
подпись А.А. Андрияс  
инициалы, фамилия

« 02 » 07 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 –Строительство

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕБЕДСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ДЕБЕД.  
СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ТЕХНОЛОГИИ В  
МОНИТОРИНГЕ ГТС**

Руководитель

  
подпись, дата

Выпускник

  
подпись, дата

Старший преподаватель  
кафедры ГТСиГМ Саяно-  
Шушенского филиала СФУ

должность

С.С.Гутов  
инициалы, фамилия

А.М.Мазепа  
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черёмушки 2020

Продолжение титульного листа БР по теме «Проектирование Дебедской ГЭС на реке Дебед. Современные геодезические технологии в мониторинге ГТС».

Консультанты по  
разделам:

Водно - энергетические расчёты

Затеева 23.06.20  
подпись, дата

Затеева Е.Ю.  
инициалы, фамилия

Основное и вспомогательное  
оборудование

Масленникова 02.07.20  
подпись, дата

Масленникова А.В.  
инициалы, фамилия

Компоновка и сооружения  
гидроузла

Фирищак 05.07.20  
подпись, дата

Фирищак Е.В.  
инициалы, фамилия

Организация и производство  
гидротехнических работ

Толошинова 30.07.20  
подпись, дата

Толошинова Т.Ю.  
инициалы, фамилия

Пожарная безопасность. Охрана  
труда

Затеев  
подпись, дата

Затеев В.Б.  
инициалы, фамилия

Охрана окружающей среды

Кадычegov 02.07.20  
подпись, дата

Кадычegov В.А.  
инициалы, фамилия

Технико - экономическое  
обоснование

Лапасова 02.07.20  
подпись, дата

Лапасова В.В.  
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

Чабанова 02.07.20  
подпись, дата

Чабанова А.А.  
инициалы, фамилия